

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a zařízení

Optimalizace zakládání modelového nosiče na formovací lince HSP 3D

Optimization of Pattern Carrier Insertion on the Molding Line HSP 3D

Student:

Bc. Jana Ďordřová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jana Ďord'ová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Optimalizace zakládání modelového nosiče na formovací lince HSP 3D**
Optimization of Pattern Carrier Insertion on the Molding Line HSP 3D

Zásady pro vypracování:

Na stávající formovací lince navrhnete inovaci za účelem zkrácení času při manipulaci s modelovým nosičem. Zejména při vkládání (vysouvání) modelového nosiče do formovacího stroje. Zpracujte rešerši stávajícího stavu a podobná řešení. Navrhnete variantní řešení a provedte konstrukční návrh vybrané varianty. Kontrolními výpočty ověřte správnost návrhu. Zpracujte výkresovou dokumentaci (upřesní vedoucí práce).

Seznam doporučené odborné literatury:

KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1290-8
KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8
LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Úvaly: Albra-pedagogické nakladatelství, 2003, ISBN 80-86490-74-2

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

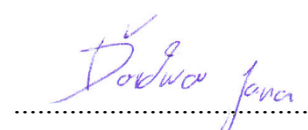


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

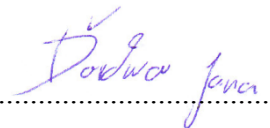


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámená s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.5.2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jana Ďord'ová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pstruží 249, Frýdlant n./O., 73911

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŘDŘOVÁ, J. *Optimalizace zakládání modelového nosiče na formovací lince HSP 3D: diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 63s. Vedoucí práce: KUBÍN, T.

Cílem diplomové práce je nahradit jeřábové zakládání modelového nosiče do formovacího stroje za mechanismus, který by proces sestavení přípravku a stroje urychlil. Práce se tedy zabývá návrhem a konstrukčním řešením tohoto mechanismu. V úvodu seznamuji se současnými stavy a účely jednotlivých zařízení, které jsou vstupem pro následnou konstrukci. Zmiňuji variantní řešení a výběr nejvhodnějšího dále popisuji. Nejvíce namáhané komponenty jsou kontrolovány pevnostními výpočty nebo analýzou MKP. V závěru hodnotím vlastní návrh práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŘDŘOVÁ, J. *Optimization of Pattern Carrier Insertion on the Molding Line HSP 3D : Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2013, 50 p. Thesis head: KUBÍN, T.

The aim of the thesis is the replacement pattern by crane establishment media into a molding machine for a mechanism that would build process of a machine to speed up. The thesis deals with the design and construction design of the mechanism. The introduction contains current status and the purpose of each device as an input to subsequent construction. I mention alternative solutions and subsequently I describe selection the most appropriate one. Some of the components are accompanied by strength calculations or FEM analysis. At the end I evaluate the own work proposal.

OBSAH

Seznam použitých značek a symbolů.....	7
Úvod.....	10
1. Rozbor slévárenského prostředí pro konstrukční návrh.....	11
1.1 Obecné základy slévárenství.....	11
1.2 Vstupy pro konstrukční návrh.....	13
1.3 Současný stav zakládání modelového nosiče.....	19
1.4 Řešení výměny nosičů modelových desek v jiném závodě.....	22
2. Popis konstrukčního řešení.....	23
2.1 Variantní řešení.....	23
2.2 Konstrukce vozíku.....	25
2.3 Konstrukce zásobníku.....	33
2.4 Plán výměny nosičů modelových desek pomocí navržené konstrukce.....	39
3. Kontrolní výpočty.....	43
3.1 Vozík.....	43
3.2 Zásobník.....	52
4. Závěr.....	60
Seznam použité literatury.....	61
Seznam příloh.....	63

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

a	zrychlení	$[\text{m.s}^{-2}]$
b_{ξ}	délka průřezu plochy pístu	$[\text{mm}]$
b_z	potřebná šířka řemene	$[\text{mm}]$
C_{Spez}	specifická tuhost řemene	$[\text{N}]$
C_1	provozní faktor	$[-]$
c	součinitel stranového tření	$[-]$
D_o	vnější průměr osy	$[\text{mm}]$
$D_{p,v}$	roztečný průměr řemenice vozíku	$[\text{mm}]$
D_v	průměr kola vozíku	$[\text{mm}]$
D_z	průměr kola zásobníku	$[\text{mm}]$
D_w	roztečný průměr vozíku zásobníku	$[\text{mm}]$
d_{ξ}	průměr čepu	$[\text{mm}]$
d_o	vnitřní průměr osy	$[\text{mm}]$
d_v	průměr náboje kola vozíku	$[\text{mm}]$
d_z	průměr náboje kola zásobníku	$[\text{mm}]$
F_p	potřebná síla aktuátoru	$[\text{N}]$
F_{max}	maximální síla aktuátoru v tlaku	$[\text{N}]$
$F_{s,v}$	setrvačná síla vozíku	$[\text{N}]$
$F_{s,z}$	setrvačná síla zásobníku	$[\text{N}]$
$F_{T\text{max}}$	maximální síla řemene zásobníku v tahu	$[\text{N}]$
$F_{TR,v}$	třecí síla od vozíku	$[\text{N}]$
$F_{TR,z}$	třecí síla od zásobníku	$[\text{N}]$
F_{TV}	předepínací síla řemene	$[\text{N}]$
F_{TZUL}	povolená síla řemene v tahu	$[\text{N}]$
$F_{U\text{spez}}$	pevnost zubů řemene ve smyku	$[\text{N.cm}^{-1}]$
$F_{VAL,v}$	valivý odpor vozíku	$[\text{N}]$
$F_{VAL,z}$	valivý odpor zásobníku	$[\text{N}]$
$F_{VYS,v}$	celkové zatížení od vozíku	$[\text{N}]$
$F_{VYS,z}$	celkové zatížení od zásobníku	$[\text{N}]$
F_1	síla od čtvrtiny hmotnosti unášече modelové desky	$[\text{N}]$
F_2	síla od čtvrtiny hmotnosti unášече modelové desky	$[\text{N}]$
F_3	síla od poloviny hmotnosti unášече modelové desky	$[\text{N}]$

F_4	síla od poloviny hmotnosti unášече modelové desky	[N]
F_5	síla od poloviny hmotnosti unášече modelové desky	[N]
F_6	síla od poloviny hmotnosti unášече modelové desky	[N]
F_7	síla od čtvrtiny hmotnosti unášече modelové desky	[N]
F_8	síla od čtvrtiny hmotnosti unášече modelové desky	[N]
F_{1V}	vertikální síla působící na vozík od hmotnosti nosiče	[N]
F_{2V}	síla od hmotnosti nosiče pod úhlem α	[N]
F_{3V}	síla od hmotnosti nosiče pod úhlem β	[N]
F_{4V}	síla od hmotnosti nosiče pod úhlem γ	[N]
f	součinitel valivého tření	[-]
G	gravitační síla	[N]
g	gravitační zrychlení	[N]
$i_{p,V}$	převodový poměr pohonu vozíku	[-]
$i_{p,Z}$	převodový poměr pohonu zásobníku	[-]
$M_{k,V}$	potřebný moment na kole vozíku	[N.m]
$M_{M,V}$	potřebný moment na hřídeli motoru vozíku	[N.m]
$M_{M,Z}$	potřebný moment na hřídeli motoru zásobníku	[N.m]
M_{Omax}	maximální ohybové napětí	[N.m]
$M_{p,\dot{r}}$	potřebný moment na řemenici zásobníku	[N.m]
M_V	výstupní moment pohonu vozíku	[N.m]
M_Z	výstupní moment pohonu zásobníku	[N.m]
m_c	hmotnost vozíku s unášечem	[kg]
$m_{p,z}$	hmotnost pohyblivého rámu zásobníku	[kg]
m_z	zvedaná hmotnost vozíku	[kg]
$n_{1,V}$	vstupní otáčky motoru vozíku	[min ⁻¹]
$n_{2,V}$	výstupní otáčky pohonu vozíku	[min ⁻¹]
$n_{1,Z}$	vstupní otáčky motoru zásobníku	[min ⁻¹]
$n_{2,Z}$	výstupní otáčky pohonu zásobníku	[min ⁻¹]
P_D	přípustná hodnota tlaku ve stykových plochách	[MPa]
$P_{PMOT,V}$	potřebný výkon motoru vozíku	[kW]
$P_{PMOT,Z}$	potřebný výkon motoru zásobníku	[kW]
P_V	výkon motoru vozíku	[kW]
P_Z	výkon motoru zásobníku	[kW]
P_1	tlakové napětí na čepu pístu	[MPa]
R_a	reakce od maximální síly aktuátoru v tlaku	[N]

r_v	poloměr kola vozíku	[mm]
r_z	poloměr kola zásobníku	[mm]
$S_{\check{c}}$	plocha průřezu čepu	[mm ²]
s_v	dráha vozíku	[m]
s_z	dráha jedné pozice zásobníku	[m]
t_a	čas vysunutí a zasunutí aktuátoru	[s ⁻¹]
t_s	čas otočení formovacího stroje	[s ⁻¹]
t_v	čas přejezdu vozíku	[s ⁻¹]
t_z	čas přejezdu zásobníku	[s ⁻¹]
t_{0n}	počáteční čas výměny modelu	[s ⁻¹]
t_{1n}	čas v první fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{2n}	čas po druhé fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{3n}	čas po třetí fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{4n}	čas po čtvrté fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{5n}	čas po páté fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{6n}	čas po šesté fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{7n}	čas po sedmé fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{8n}	čas po osmé fázi výměny modelů	[s ⁻¹]
t_{9n}	celkový čas výměny modelů	[s ⁻¹]
$v_{obv,\check{r}}$	obvodová rychlost řemenice zásobníku	[m.s ⁻¹]
$v_{obv,V}$	obvodová rychlost řemenice vozíku	[m.s ⁻¹]
v_v	rychlost vozíku	[m.s ⁻¹]
W_o	modul průřezu v ohybu	[m ³]
z_e	počet zubů v záběru	[-]
α	úhel mezi horním táhlem a svislou složkou síly	[°]
β	úhel mezi pohybovou deskou vozíku a horním táhlem	[°]
γ	úhel mezi aktuátorem a vodorovnou složkou síly	[°]
η	celková mechanická účinnost pohonu	[-]
μ_{TR}	měrný součinitel tření v ložisku	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]
τ_{Ds}	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
τ_s	napětí ve střihu	[MPa]
ω_v	úhlová rychlost kola vozíku	[s ⁻¹]
Δl	prodloužení řemene	[mm]

ÚVOD

V současnosti se veškeré firmy snaží zrychlit proces výroby, kde z velké části nejvíce času zabírají pomocné práce, jako jsou příprava strojů, nástrojů, materiálu, přípravku atd. Zkrácení těchto časů přináší možnost více se soustředit na samostatnou výrobu, hlavně technologii a metalurgii v případě slévárenského průmyslu, pro který je mechanizace navrhována. Samozřejmou výhodou jakéhokoliv urychlení výrobního procesu za dosažení minimálně stejné kvality je přínos investic. Veškeré inovace se nyní staví na samostatnosti čili na automatizaci, mechanizaci a jednoduché obsluze. S nízkým stupněm mechanizace se můžeme setkat při výrobě těžkých odlitků zejména ve starších slévárnách.

V této diplomové práci navrhuji mechanismus pro přepravu modelových desek umístěných v nosičích. Zadavatelem je firma GIFF a.s., pro kterou je navrhovaná konstrukce přizpůsobena tak, aby byla jednoduchá výrobně i funkčně. Cílem je usnadnit práci s těmito nosiči a zvýšit tak produktivitu práce. Nosiče budou schopny za pomoci dálkového ovládání obsluhy postupovat směrem k formovacímu stroji a samostatně se ukládat do vymezených čepů stroje. Mojí snahou je využít co nejvíce normalizovaných součástí a řešení konstrukce přizpůsobit tak, aby si zadavatelská firma byla schopna vyrobit celé zařízení za pomoci strojů, které vlastní. Společnost GIFF a.s. je subjektem dodávající odlitky hlavně pro strojírenské podniky k dalšímu zpracování. Jde tedy o oblast druhovýroby, na rozdíl od hutních sléváren, které patří do prvovýroby.

1. ROZBOR SLÉVÁRENSKÉHO PROSTŘEDÍ PRO KONSTRUKČNÍ NÁVRH

K vytvoření stroje, jenž bude pracovat ve slévárenském průmyslu, je vhodné porozumět základním principům slévárenské technologie. Protože, tento obor je velice rozsáhlý, vybírám pouze kategorie, které souvisí s typem odlévání kovu do pískových forem. V průběhu kapitoly uvádím jednotlivé typy strojů, se kterými navržený mechanismus bude v kontaktu, a popisuji současný stav výměny modelových desek v daném prostředí.

1.1 Obecné základy slévárenství

„Výrobou odlitků se rozumí natavení slitiny kovů předepsaného chemického složení a teploty, upravené s využitím metalurgických procesů, odlití tekutého kovu do dutiny formy, kde se po ztuhnutí slitiny vytvoří odlitek požadované mikrostruktury, a tím i vlastnosti.“[1]

Technologický proces výroby odlitků

Proces lze rozdělit na následující etapy[1]:

- a) *Příprava formovací směsi* – cílem je výroba formovací směsi pro zhotovení formy, u jádrové směsi výroba jader požadované kvality.
- b) *Výroba odlitku* – cílem je vytvořit ve formovací směsi dutinu, jejíž vnější obrysy odpovídají budoucímu odlitku. Úkolem výroby jader v jadernících je zhotovení jader, kterými se v odlitku vytváří dutina (jádra pravá) nebo se usnadňuje formování (jádra nepravá).
- c) *Skládání formy* – části formy se spolu s jádry skládají a vytváří tak kompletní dutinu ve formě, odpovídající tvarem budoucímu surovému odlitku.
- d) *Příprava a tavení vsázky* – vhodně sestavená kovová vsázka (např. surové železo, kovový odpad, vratný materiál a přísady) dostává přivedeným teplem tekutý stav, přičemž se získává optimální chemické složení tavení o určité teplotě.
- e) *Odlévání formy* – dutinu formy vyplňuje tekutý kov, který ztuhne. Vznikne odlitek.
- f) *Dokončovací operace* – pracovní operace, potřebné na dokončení odlitku po ztuhnutí tekutého kovu, např. rozebírání formy (vytloukání odlitku z formy).

Modelová deska

Slouží k vytvoření dutiny požadovaného tvaru v pískové formě. Zjednodušeně se jedná se o desku s tvarem budoucího odlitku, k němuž je připojený model vtokových zářezů a odstruskovačů, jimiž vede kov ke každému odlitku.[2] Modelová deska (obrázek 1.2), je nejčastěji vyráběna z hliníku a tvar získává na obráběcích centrech.

Druhy modelů podle upnutí[2]

- Jednoduché – stejné formování vršku a spodku formy
- Dvojité – oddělené zvlášť pro spodek a vršek
- Oboustranné – na jedné straně mají modely vršku a na druhé modely spodku
- Reversní – na téže straně mají připevněný horní i spodní částí modelu

Formovací stroj

Slouží k výrobě forem, jader nebo ke vkládání jader.

Rozdělení dle zhutňování forem[2]

- Pěchování (ruční)
- Střásání (pneumatické, hydraulické, elektromagnetické, membránové)
- Lisování (pneumatické, hydraulické, elektromagnetické, membránové)
- Metání (pískomety)

Formovací rám

Formovací rám tvoří pevný plášť, ve kterém se formovací materiál při ručním nebo strojním pěchování náležitě zhutňuje a zpevňuje. Dále musí chránit formu při rozebírání, při vyjímání modelu, při opravování dutin formy, při obrácení, přenášení nebo převážení formy na místo určení k lití. Při plnění formy roztaveným kovem musí formovací rám zachytit všechny vznikající tlaky a umožnit tak správné zhotovení odlitku. Základní rozměry formovacích rámců určuje ČSN. Nejvíce se používají rámy ze šedé litiny.[3]



Obrázek 1.1 Formovací rám

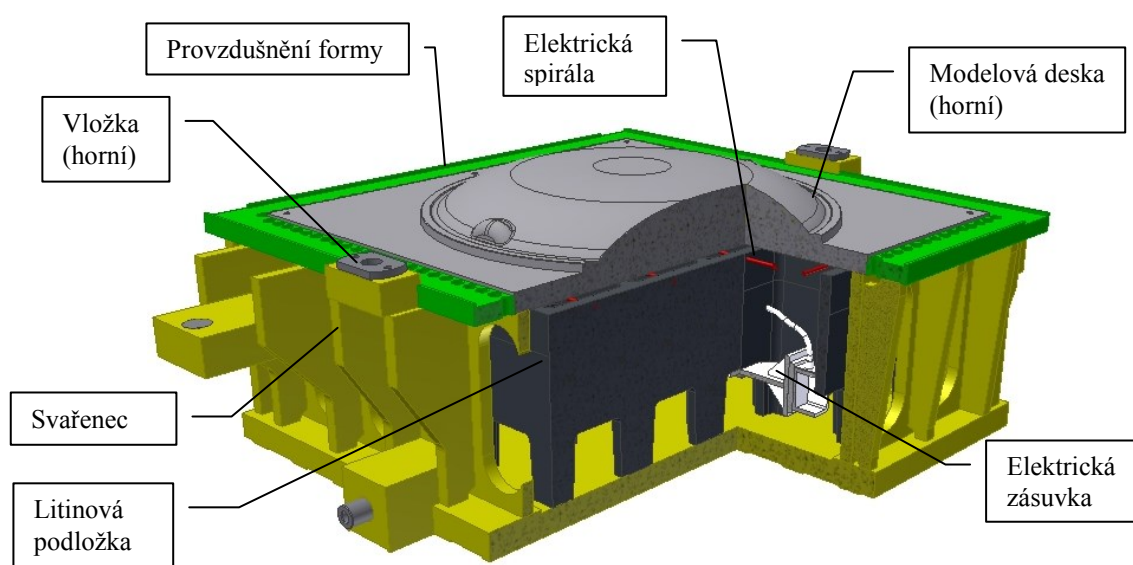
Okraje formovacích ráků bývají vyztuženy pískovými lištami, které mají přidržovat formovací písek a zabránit jeho vypadnutí při zvedání a obracení plného rámu. Pro přenášení a zvedání mají ruční rámy držadla a velké rámy čepy. Vrchní rám se skládá a lícuje na spodní rám obvykle pomocí skládacích kolíků, které se zasouvají do otvorů v uchách formovacích ráků.[3]

1.2 Vstupy pro konstrukční návrh

Nyní se zaměřuji na jednotlivé stroje a zařízení, které určují svými rozměry nebo činnostmi vstupní hodnoty pro navrhovaný mechanismus. Není nutné znát celou výrobní linku od počátku výroby modelů, přes odlévání, po expedici hotových výrobků. Pro dobrý návrh konstrukce postačí seznámit se s účely, principy strojů a technologiemi, pro které má být mechanismus navržen nebo s nimiž úzce souvisí. Konstrukce musí rozměrově odpovídat a navazovat na přilehlé stroje.

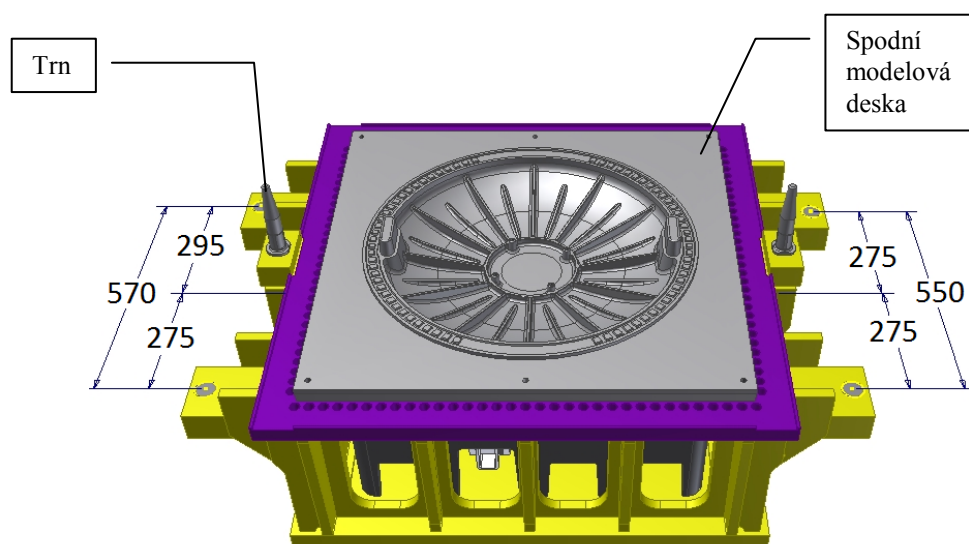
Nosič modelové desky (unášec)

Nosný základ nosiče tvoří ocelový svařenec, spojený z několika dílčích částí. Součástí každého unášeče je modelová deska, podložka, topná spirála a elektrická zásuvka. Další části se zakládají podle druhu horního či spodního unášeče.

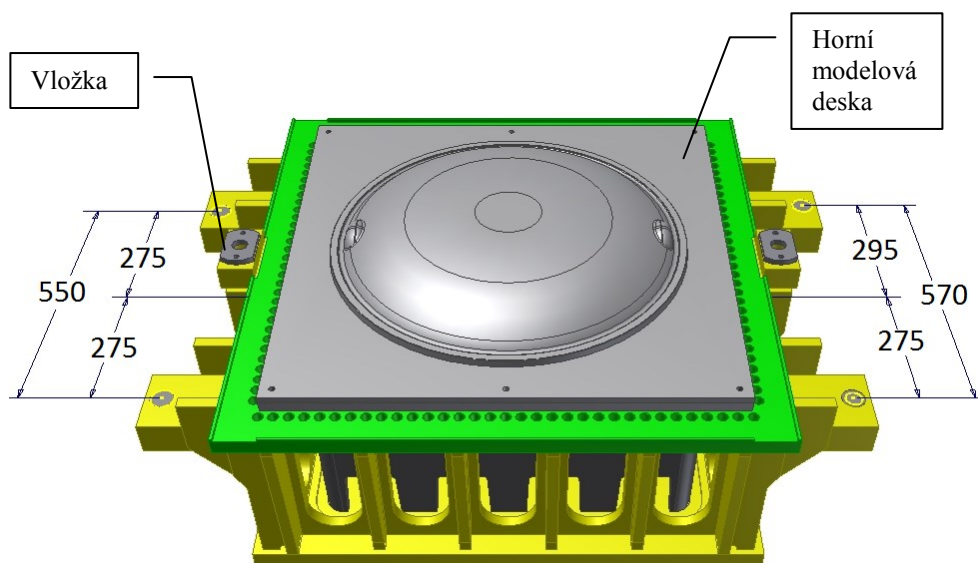


Obrázek 1.2 Sestava nosiče modelové desky

Abychom byli schopni vytvořit pískovou formu, která se dělí na dvě části v místě dělící roviny, je nutné použití dvou nosičů. Jeden nese spodní a druhý horní část modelové desky. Při návrhu manipulátoru, který bude zavážet kompletní unášče do formovacího stroje, je nutné mít na paměti, že horní a spodní nosič mají rozdílné rozteče děr v místě pokládání na rám formovacího stroje. Důvodem je, že díry nejsou stejně od sebe daleko, aby nedošlo k záměně horního a spodního dílu, neboť prvně se formuje spodní část formy, poté horní. Po vytvoření dvou pískových forem, které uvnitř skrývají tvar budoucího odlitku, se oba dílce spolu spojí a jsou připraveny pro odlévání tekutým kovem. Dalším odlišným znakem je trn (obrázek 1.3), jenž je součástí spodního, a pouzdro (obrázek 1.4) součástí horního unášče.



Obrázek 1.3 Spodní nosič modelové desky



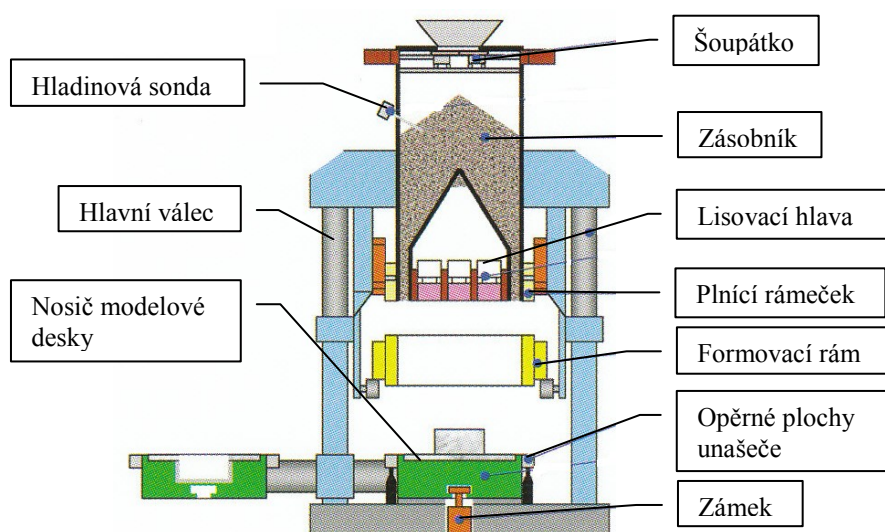
Obrázek 1.4 Horní nosič modelové desky

Do středu svařovaného dílce se vkládá litinová podložka (obrázek 1.2). Podložky jsou vyráběny v různých výškách a vybírají se podle hloubky modelového nosiče. Součástí podložky je topná spirála. Ta je připojena k zásuvce, jenž odebírá elektrickou energii skrz formovací stroj. Je tedy nutné přivádět unášec tak, aby zásuvka byla co nejbližší ke středu otáčení formovacího stroje.

Vlhčená formovací směs má tendenci se při lisování lepit na povrch modelové desky, což přináší potíže při odtažení modelové desky s vytvořenou pískovou formou. Jestliže část směsi zůstane na modelu, tvar formy se poškodí a výsledný odlitek bude zmetkový. Proto se z technologických důvodů modelová deska skrz podložku pomocí topné spirály vyhřívá na 40-50°C. Teplem se vysuší formovací směs na povrchu hliníkového modelu a usnadní bezpečné odformování za vytvoření požadovaného tvaru formy.

Formovací linka HSP – 3D

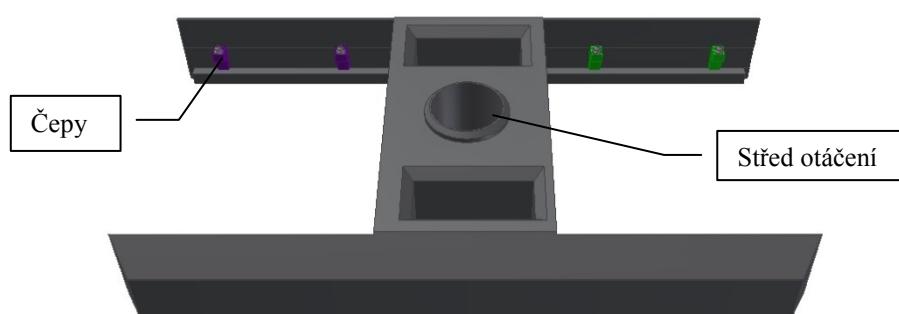
„Do nedávna k výrobě formy prostřednictvím běžného třasacího způsobu bylo zapotřebí dvou strojů a obsluhy. Pracovní prostředí bylo hlučné a prašné, kvalita forem velmi omezená. Tato situace dávala výrobcům iniciativu vyvinout SEIATSU, vzduch využívající formovací stroj HSP“[4]. Společnost vyrábí různé modely této řady, jenž se liší označením 1D, 2D a 3D. Rozdíl se projevuje jednak v rozměrech stroje a v hlavní řadě rozměry modelových desek, tedy určují, jak velké odlitky je možno vyrábět. Firma, pro níž je diplomová práce navrhována disponuje formovací linkou HSP – 3D, která umožňuje použití formovacích rámu 1000x800 mm.



Obrázek 1.5 Formovací stroj HSP-3D[5]

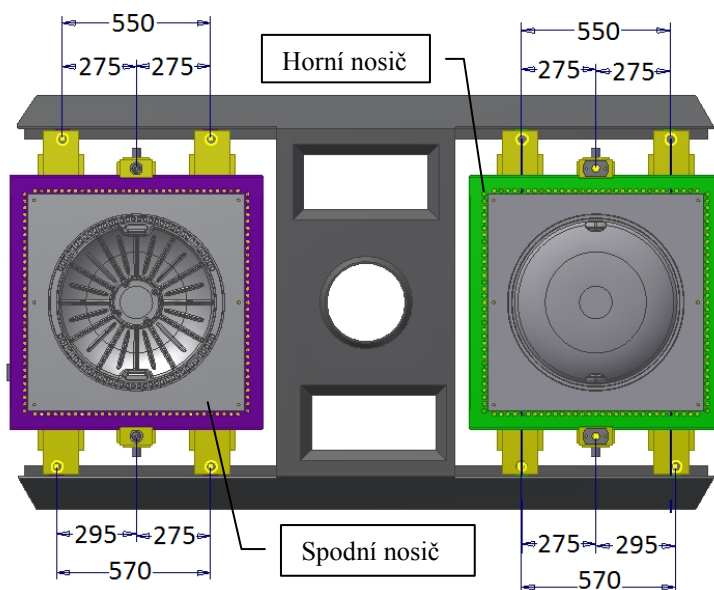
Protože HSP produkuje horní a spodní formu střídavě v jednom stroji, zrychlí se výkon výroby formy minimálně o 50%. Formovací linka disponuje otočným stolem, kde lze založit horní i spodní unášec modelové desky. Stůl se střídavě otáčí mezi plnicí stanicí dodávající formovací směs a zhutňovací stanicí. Zatímco jedna polovina formy se zaplňuje pískem, předchozí už je zhutňována. [6]

Otočný stůl spolu s nosičem je vstupem pro konstrukční návrh diplomové práce, neboť úkolem je dopravit nosič modelové desky do otočného rámu (stolu) formovacího stroje.



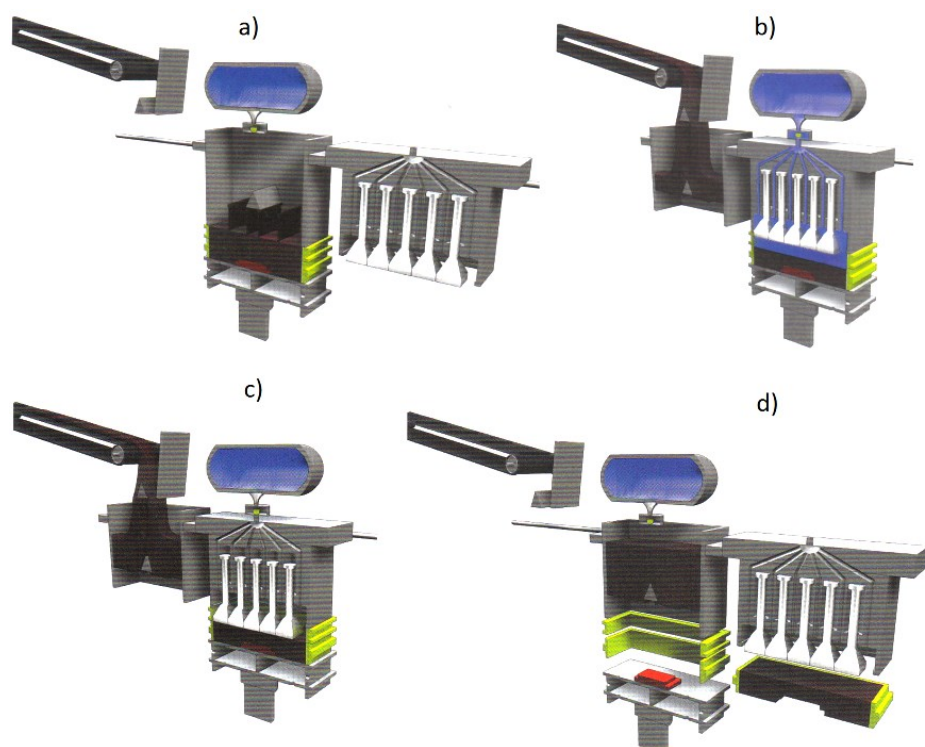
Obrázek 1.6 Rám otočného stolu

Stejně tak jako unášec se rozlišují na horní a spodní tvar modelu. I otočný stůl se dělí na stranu pro zakládání spodního a stranu horního nosiče. Rozdíl je v roztečích čepů, na které jsou unášec pokládány.



Obrázek 1.7 Sestava otočného stolu s horním a spodním unášecem

Technologie využití vzduchu při formování funguje na principu udání médiu kinetickou energií. Proudící vzduch prochází zrnky písku a unáší je směrem dolů do těžko dostupných míst tvarovaného modelu. Docílí se výborného prvotního zhutnění vrstvy formovací směsi na povrchu modelu. Vzduch dále prochází přes provzdušňovací lištu, (obrázek 1.2) ven od formovací desky. V druhé fázi zhutnění přichází na řadu hydraulická plochá hlava, která stlačí formovací směs na úroveň formovacího rámu. Popis jednotlivých kroků při formování je na (obrázku 1.8).[7]

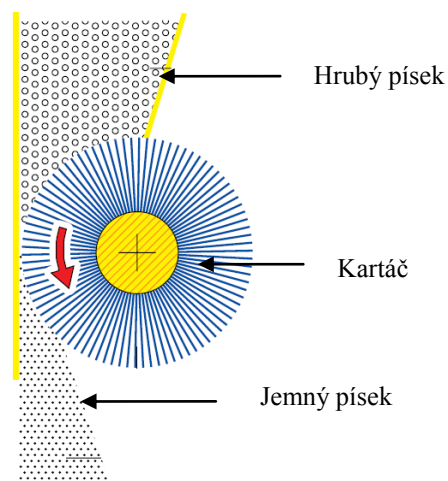


Obrázek 1.8 Jednotlivé kroky při formování[7]

- a) Plnění formovacího rámu pískem b) Působení metody zhutnění formy prouděním vzduchu
c) Zhutnění prostřednictvím dělené lisovací hlavy d) Oddělení modelu od formy*

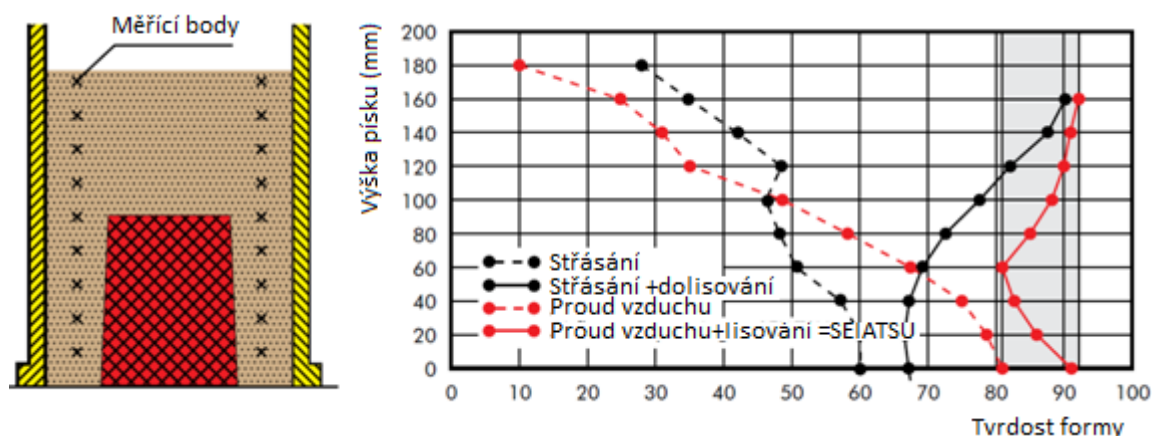
Plnicí rámeček je součástí stroje a má funkci správného zarovnání formovací směsi po rovinu formovacího rámu, neboť při formování dochází k neustálému snižování hladiny písku.

Protože formovací směs se po regeneraci a po navlhčení má tendenci lepit nebo vytvářet hrudky, je směs před přivedením do formovacího rámu a plnicího rámečku namletá na požadovanou zrnitost. Prvotně je žádoucí jemný písek, který obalí tvar modelu, poté hrubší zrna písku. Oba druhy jsou dodávány z jednoho zásobníku a nanášeny prostřednictvím kotoučového kartáče, který udává velikost zrna nastavením průchozí díry mezi kartáčem a pevnou deskou, (obrázek 1.9).[4]



Obrázek 1.9 Dávkování formovací směsi[4]

(Obrázek 1.10) zobrazuje závislost výšky formovací směsi a tvrdosti formy při různých způsobech formování. Princip proudu vzduchu společně s lisováním zaručuje ve srovnání s ostatními metody největší pevnost formy.

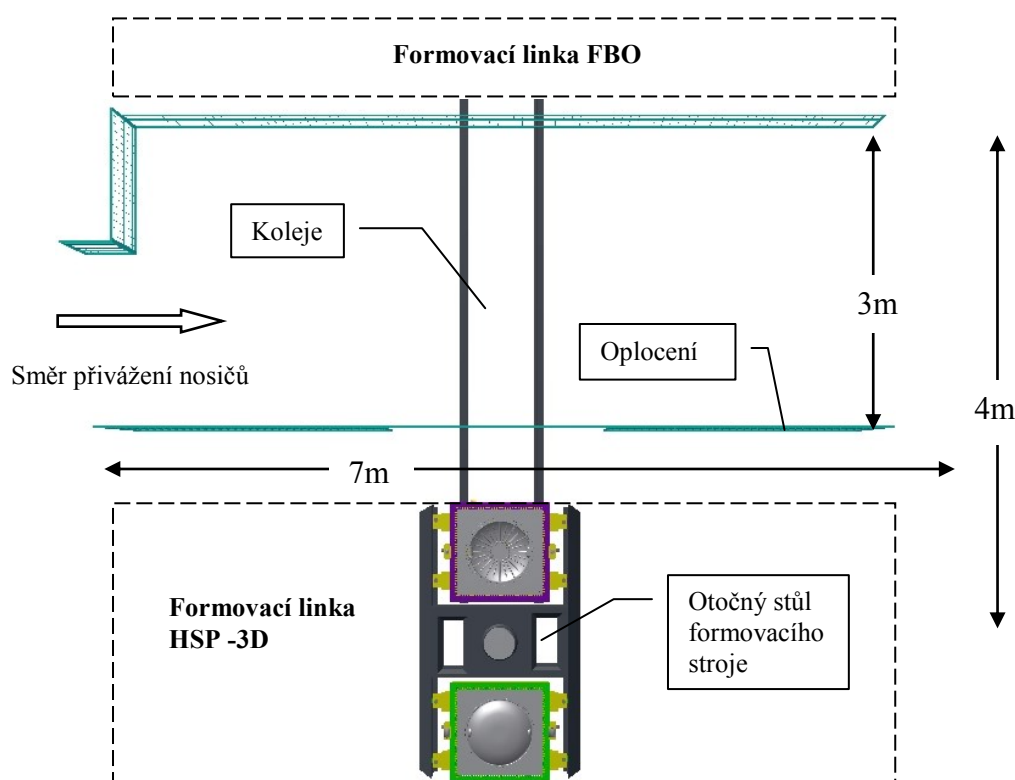


Obrázek 1.10 Graf tvrdosti formy v závislosti na způsobu formování[4]

Po vytvoření $\frac{1}{2}$ formy jsou dále transportním vozem unášeny ven od zhutňovací stanice a otáčeny, aby obsluha mohla zkontrolovat tvar upěchované formy, případně založit jádra. Zkontrolované poloviční formy je dále třeba spojit v jednu celkovou formu tvořící v dělicí rovině tvar odlitku. To se děje pomocí další obrabečky, která otáčí pouze horní polovinu formy spolu s formovacím rámem a přikládá ji na spodní polovinu formy. Vznikne jedna forma připravená pro odlévání tekutým kovem. Po zalití dutiny, forma pokračuje skrz vzduchové chlazení, po němž se separuje odlitek od zatvrdlé formovací směsi, a formovací rám se po očištění vrací zpět na začátek jeho plnění pískem.

Rozložení strojů v prostoru

Výše popsané druhy strojů určené k slévárenským úkonům jsou ve výrobní hale následovně rozmístěny (obrázek 1.11). Z důvodu zástavby další formovací linky FBO naproti HSP – 3D, je prostor ohraničen plotem ve vzdálenosti 4m od osy otáčení formovacího stolu. Linka HSP- 3D je z bezpečnostních důvodů chráněná vyšším 2,5metrovým oplocením s možností vstupu k otočnému stolu otevíratelnými vraty. Vzdálenost mezi jednotlivým oplocením je přibližně 3m. Tato hodnota včetně délky 7m vymezuje prostor pro konstrukční návrh budoucího mechanismu pro výměnu modelových desek. Ty se přiváží zleva a stejným směrem i odváží vysokozdvizným vozíkem na sklad.



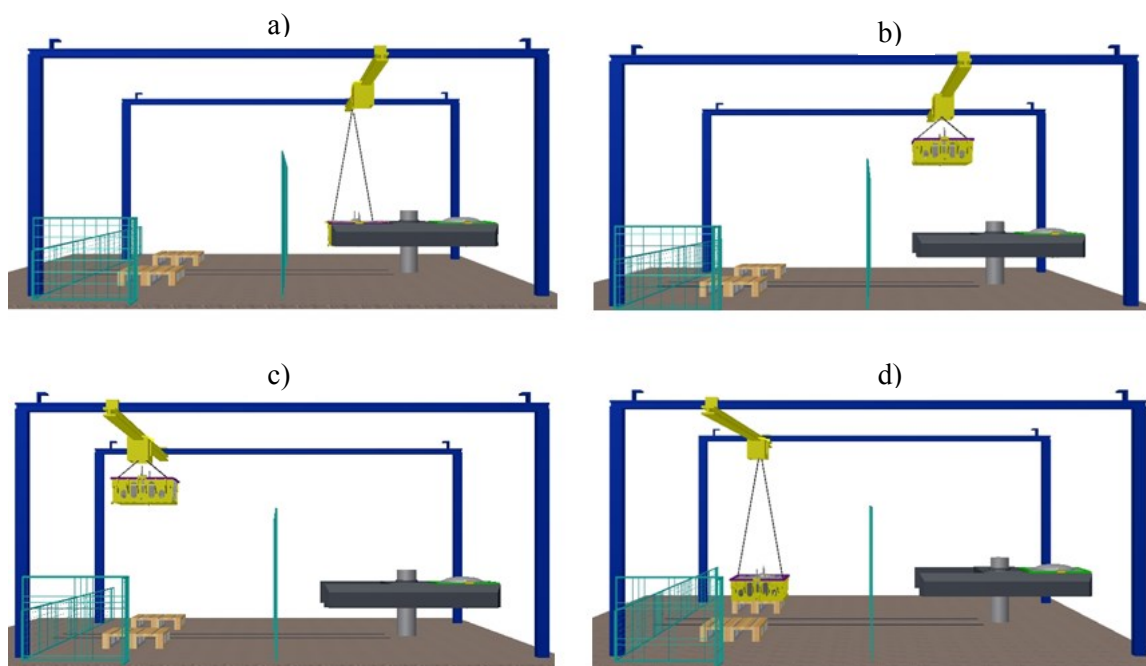
Obrázek 1.11 Rozložení strojů v prostoru

1.3 Současný stav zakládání modelového nosiče

Při změně určité série tvaru odlitku za jinou je potřeba vyměnit modelové desky, za ty, které jsou v plánování výroby. Nejprve, je třeba provést výměnu modelových desek na unášečích, což zahrnuje odšroubování předešlé, výměnu litinové podložky, pokud je výška modelové desky odlišná a čistící operace. Tato výměna se děje mimo okolí formovacího stroje ve specializované dílně, respektive skladu se všemi používanými modelovými deskami pro výrobu. Připravený unášec se poté odváží na vysokozdvizném vozíku do výrobní haly

k HSP – 3Dlince a ukládá na palety. V tomto okamžiku přichází na řadu iniciace optimalizace při zakládání unášeče do otočného stolu formovacího stroje, neboť následný proces zpomaluje výrobu odlitku.

Prvně je třeba odstranit neaktuální model, proto se do rohů modelové desky našroubují závěsná oka a k nim přiřadí háky, jež jsou součástí jeřábu. Poté se celý unášec nadzvedne nad úroveň plotu cca 2,5m a změní dráhu ze svislé, na vodorovnou, směrem k paletám. Po sundání háku a následném vyšroubování ok se obsluha přemístí k aktuálnímu nosiči pro výrobu odlitku a opět manipuluje s jeřábem, přičemž pokládání unášeče na čepy je složitější a je třeba zvýšené opatrnosti, aby do sebe díly vhodně zapadly. Proces se dále opakuje stejným způsobem pro výměnu druhé části formy. Celkový čas výměny mezi přivezením připravených unášců a jejich založením do otočného stolu zabírá přibližně 8:13min. Popis dráhy nosiče od otočného stolu na paletu ve čtyřech krocích (obrázek 1.12).

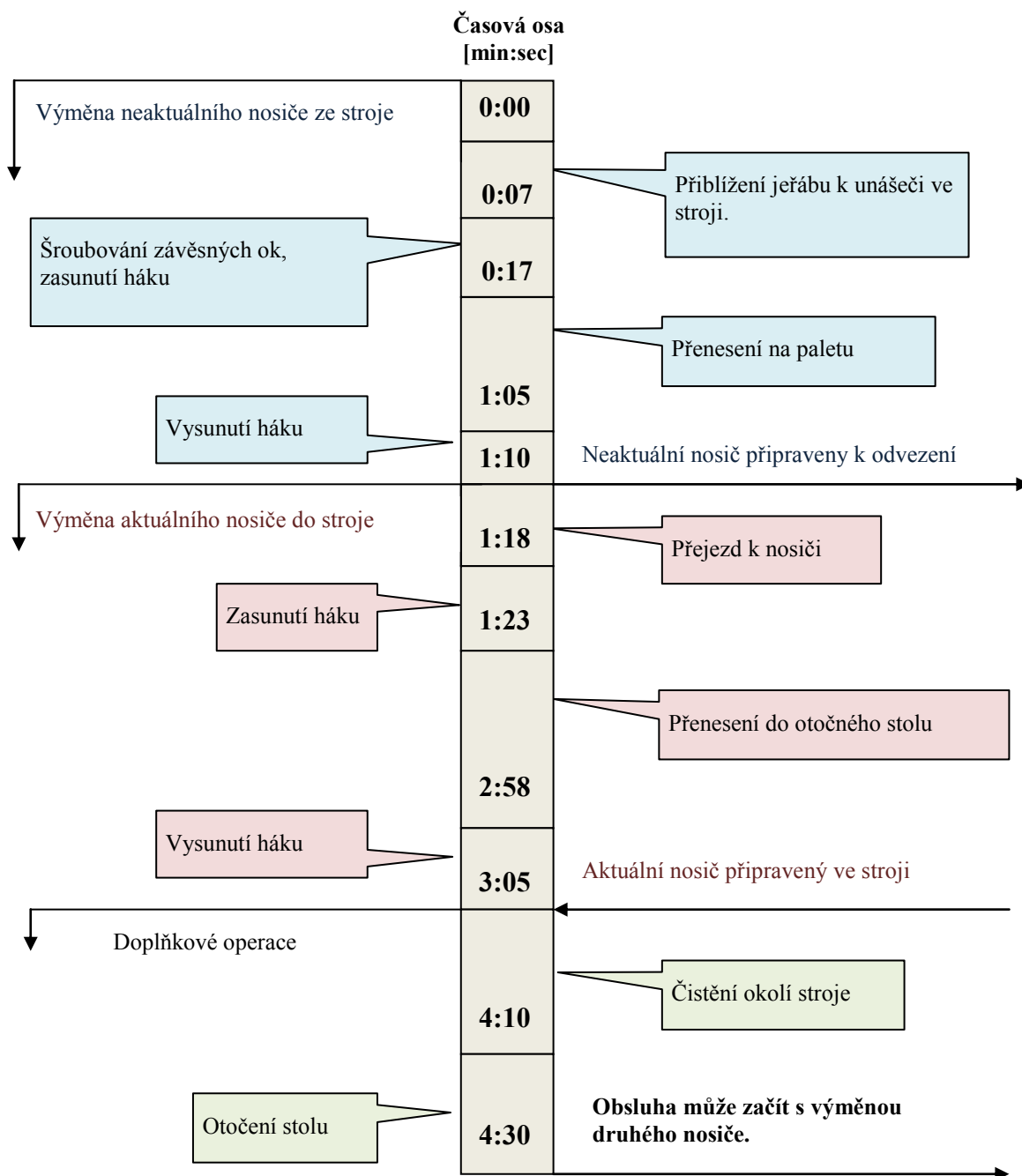


Obrázek 1.12 Jednotlivé kroky aktuální výměny nosičů modelových desek

a) Výchozí pozice neaktuálního nosiče při vyjímání z otočného rámu stroje. b) Vysunutí nad polohu oplocení a přejezd oplocení nad palety. c) Pokládání na palety. Neaktuální nosič připraven ke skladování.

Důvodem, proč je třeba unášec vytahovat nad úroveň oplocení, je jeho tvar obsahující příčku, která je součástí otevíracích vrat. Není tedy možné nosič vyzdvihnout jen nad úroveň otočného stolu a pokračovat ve směru k paletám. Navíc při přejezdu za použití řetězového jeřábu má unášec tendenci se rozkývat a je nutné dvojice operátoru. Jeden pracovník koriguje naklánění unášeče a druhý dálkově ovládá pohyb jeřábu.

Podrobný sled operací v čase, jak jdou při výměně ½ formy za sebou je znázorněn na (obrázku 1.13)



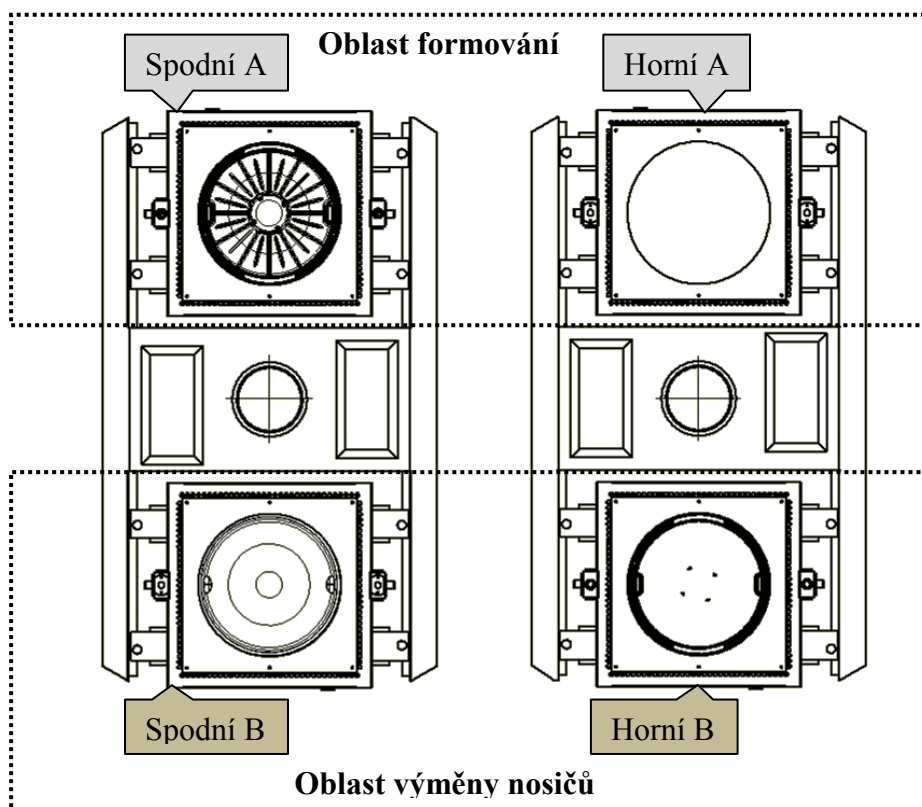
Obrázek 1.13 Časová osa aktuální výměny nosiče modelové desky

Při výměně druhé poloviny formy odpadá čas na čistění okolí stroje. Celkový naměřený čas pro výměnu horního i spodního unášече byl 8min a 13sec. Podle (obrázku 1.13) je zřejmé, že nejvíce času zabírá přejezdy od stroje k připraveným unášечům pomoci jeřábu. Navíc je třeba dvojí obsluhy.

1.4 Řešení výměny nosičů modelové desky v jiném závodě

Výměna tvaru odlitku ve výrobě je součástí výměny modelových desek. Jakým způsobem se výroba přetváří na jiný produkt, závisí hlavně na druhu formovací linky. Na trhu je mnoho typů formovacích linek, které se liší ve způsobu používání nosičů modelových desek, a tím i jeho zakládání. Dle dostupných informací od firem, které linky vyrábějí, i od těch, které je používají, jsem nenalezla žádná použitelná data, o zařízení zakládající unášče na stejném typu formovací linky HSP – 3D.

V nejmenované společnosti, která používá stejné otočné stoly a nosiče modelových desek jako linka HSP-3D, jsem se informovala o jejich způsobu výroby formy. Formovací linka je založená na dvou otočných stolech stojící vedle sebe, obsahující dvě základní oblasti (obrázek 1.14). V oblasti formování probíhá formování aktuálního požadovaného modelu jak pomocí horního, tak i spodního unášče ležících vedle sebe. Zatímco se formuje, obsluha v oblasti výměny nosičů připravuje horní a spodní modelové desky, které budou následovat. Stoly se otáčejí jen v případě výměny nosičů. U tohoto druhu linky výměnou modelu výroba neztrácí čas, neboť výměna probíhá v době formování. Obsluha má čas na danou operaci, kterou provádí prostřednictvím jeřábu.



Obrázek 1.14 Princip výměny nosičů modelových desek v jiném závodě

2. POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

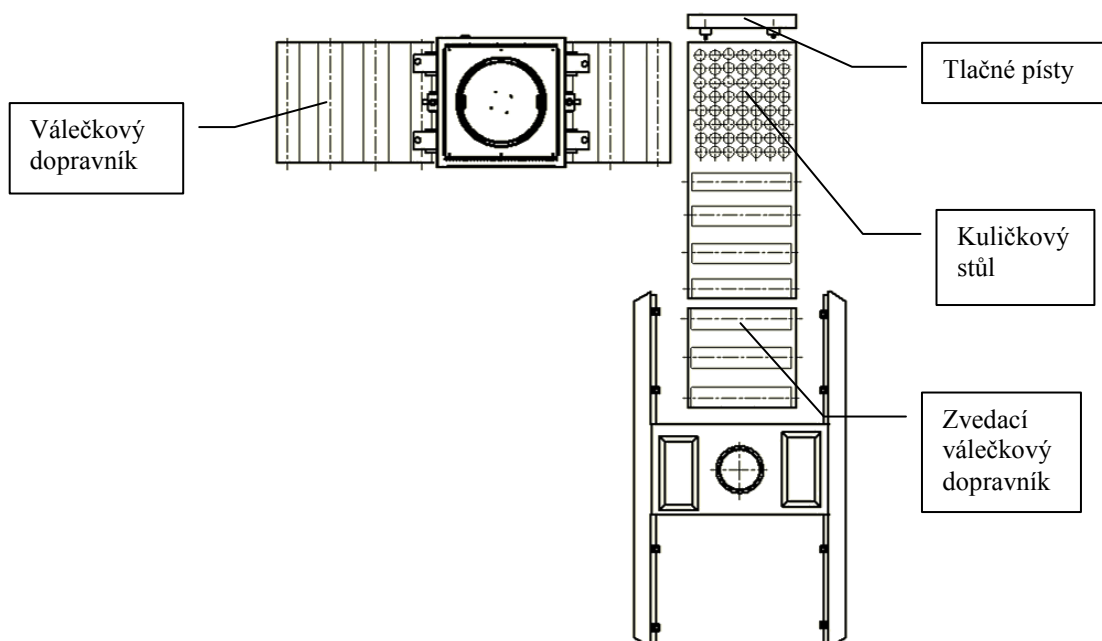
V první kapitole jsem uvedla požadavky pro navrhovaný mechanismus výměny modelových desek. Na základě těchto údajů nyní přistupuji k popisu vlastního konstrukčního řešení jednak pomocí různých variant a následném výběru nejvhodnějšího s podrobným popisem klíčových uzlů konstrukce. Doplnkem zvoleného návrhu je časový rozbor budoucí výměny modelových nosičů.

2.1 Variantní řešení

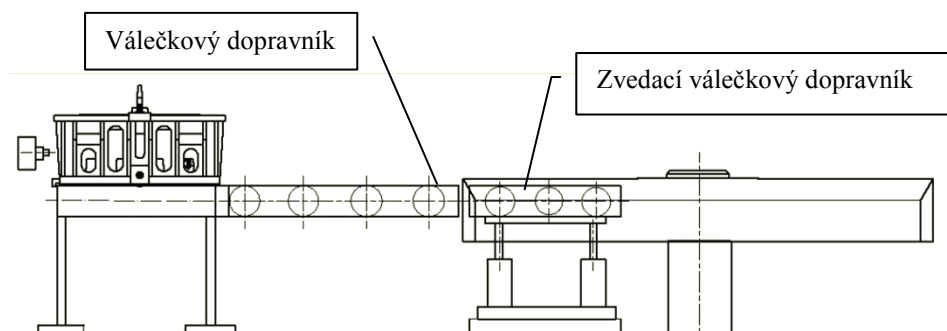
Následující varianty jsou schematicky zobrazeny jako princip daného řešení. Každý z těchto návrhů je dále možné realizovat několika způsoby.

Válečkový dopravník

Dopravu lze uskutečnit pomocí hnacích válečkových dopravníků, jež by unášely nosič nejprve do roviny otočného stolu přes kuličkový stůl, kde by měnil svůj směr pohybu o 90° (obrázek 2.1). Tlačné písty vedle kuličkového stolu by dopomohly k napojení nákladu na další válečky. Válečkový dopravník je v části formovacího stolu oddělen a schopen se prostřednictvím pístu zvedat či snižovat (obrázek 2.2)



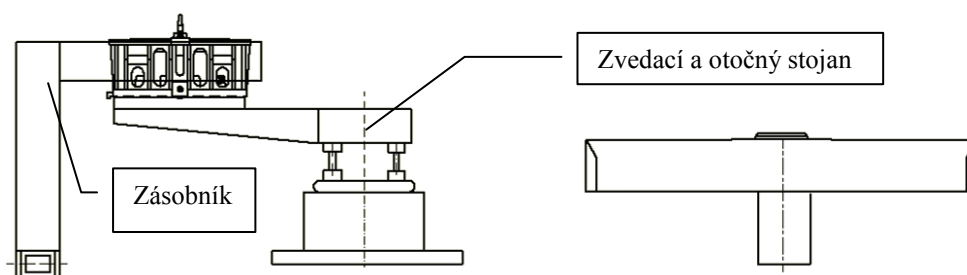
Obrázek 2.1 Schéma dopravy unášeče pomoci válečkového dopravníku, pohled shora



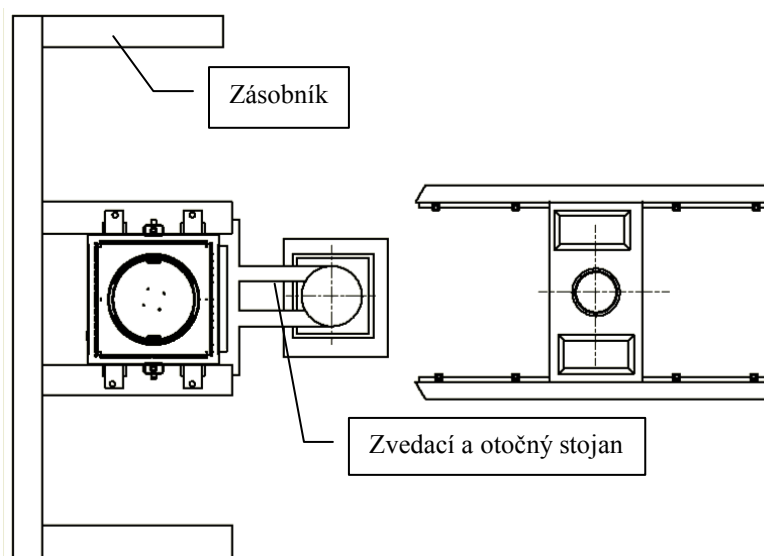
Obrázek 2.2 Schéma dopravy unášeče pomocí válečkového dopravníku, boční pohled

Otočný stojan se zásobníkem

Jedna z dalších možností přenosu unášeče je kombinací pohyblivého zásobníku a otočně zvedacího sloupu. Zásobník je pohyblivý po kolejnici a slouží pro přípravu budoucích nosičů. Funkcí otočného sloupu, je skrze pohyblivých pístů nadzvednout unášeč ze zásobníku, otočit jej o 180° a posadit do otočného stolu formovacího stroje.



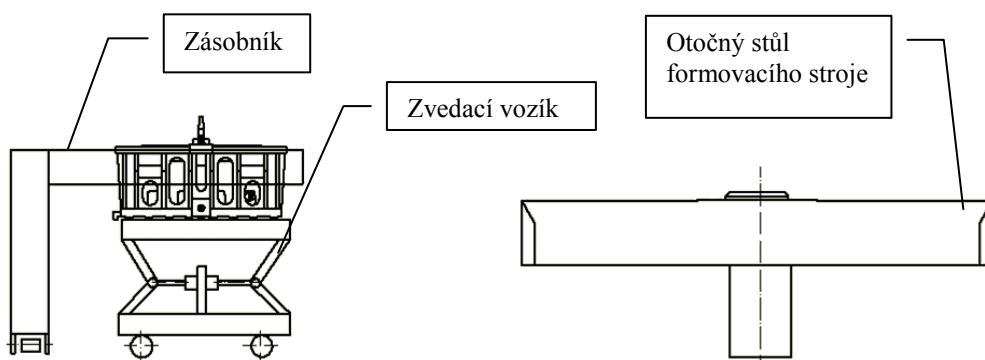
Obrázek 2.3 Schéma dopravy unášeče pomocí otočného stojanu, boční pohled



Obrázek 2.4 Schéma dopravy unášeče pomocí otočného stojanu, pohled shora

Vozík se zásobníkem

U předešlých variant je nevýhoda ve velké zástavbě plochy a nemožnost s těmito komponenty pohybovat v rámci úspory prostoru pro manipulaci nových modelů. Proto jsem navrhla variantu zásobníku a pohyblivého vozíku, jehož principem je nabrat nosič modelové desky ze zásobníku a po koleji jej dopravit do otočného stolu. V době formování lze vozík uložit pod zásobník a získat tím prostor na manipulaci s budoucími unášeči. Zásobník je řešen stejným způsobem jako v předchozí variantě (obrázek 2.4). Podrobné řešení této varianty je dále popsáno v následujících kapitolách.

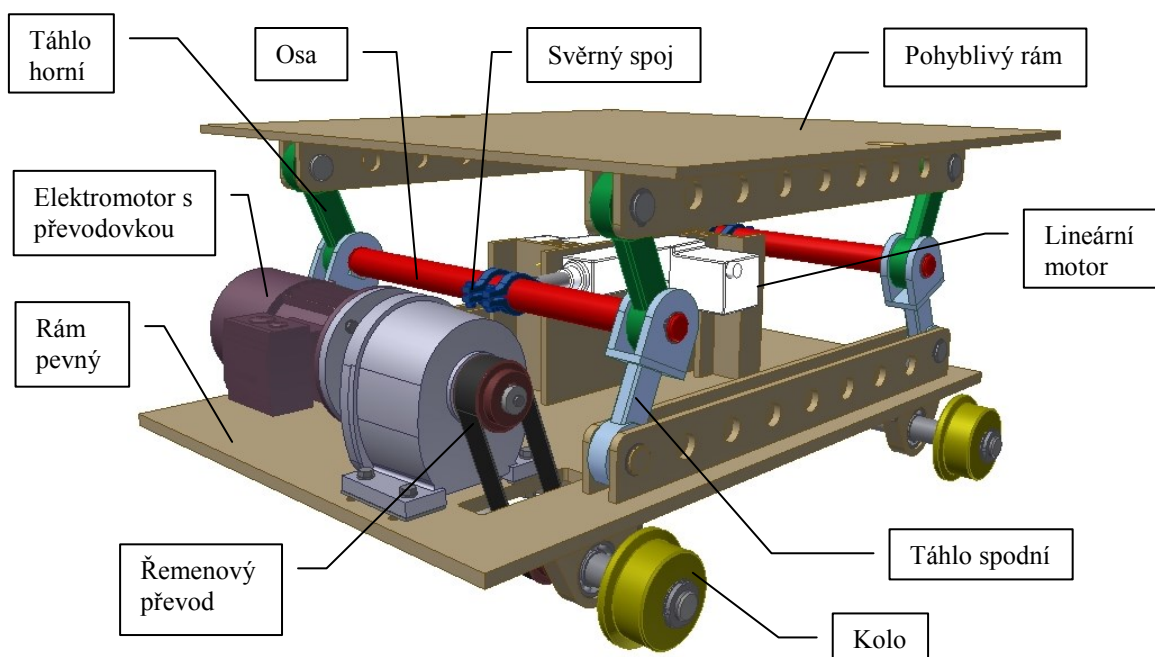


Obrázek 2.5 Schéma dopravy unášeče pomocí vozíku

2.2 Konstrukce vozíku

Úkolem vozíku je zavážení vybraného nosiče modelové desky ze zásobníku, do čepů otočného stolu. Spojnicí mezi zásobníkem a otočným rámem formování tvoří koleje, po kterých se vozík pohybuje.

Konstrukce vozíku se skládá z dvojice svařovaných rámu. Spodní rám je pevný a jeho součástí jsou kola, na která se přivádí pomocí řemenového převodu krouticí moment. Horní rám je vertikálně pohyblivý v závislosti na vysunutí pístu lineárního pohonu. Práci pístu je za přísunu elektrické energie tlačit do osy, která je otočně uložena s horními a spodními táhly, a tím snižovat či zvyšovat polohu horního rámu. Jeho pohyblivost je potřebná pro vynesení modelového nosiče z čepu a následné zasunutí do čepu na formovacím stroji. Všechny popsané komponenty jsou vyobrazeny na (obrázku 2.6).



Obrázek 2.6 Konstrukce vozíku

Lineární motor (aktuátor)

Použití lineárních aktuátoru nebylo zásadním požadavkem firmy, ovšem po zhodnocení jiných alternativ, jako jsou pneumatické či hydraulické motory, se jeví pro dané prostředí jako nejlepší volba. Svými výkony a takřka nulovými nároky na údržbu jsou ideálními prvky pro lineární posuv s nepřiliš častým pracovním cyklem. Splňují požadavky na výdrž, spolehlivost a životnost. Společnost disponuje několika množstvím těchto druhů motorů a je pro ně výhodnější použít je v této konstrukci, neboť v případě poškození jsou schopni poškozený motor ihned nahradit.

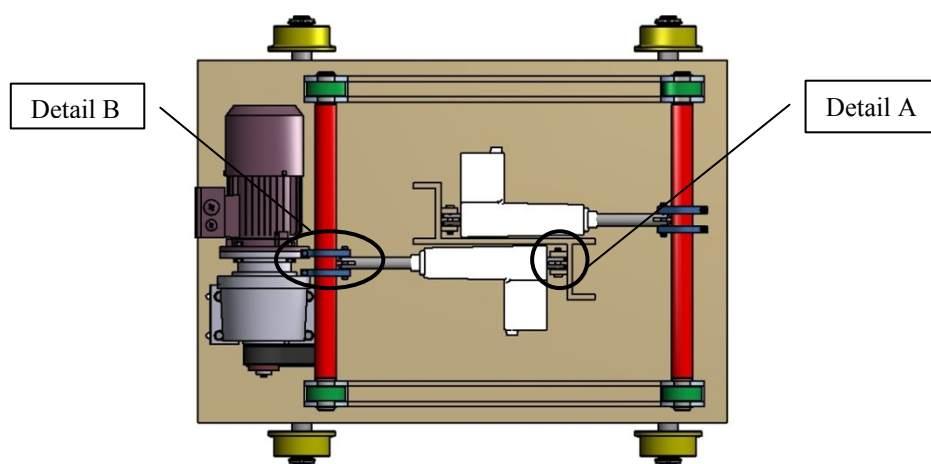


Obrázek 2.7 Lineární motor (aktuátor)[8]

Tabulka 2.1 Základní hodnoty aktuátoru[8]

Lineární motor LA31	
Maximální síla v tlaku	6000N
Maximální síla v tahu	4000N
Maximální rychlost	32mm/s

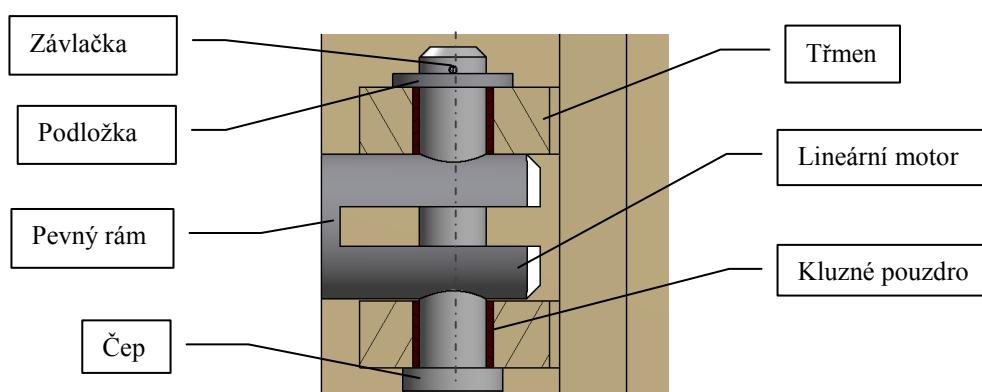
Protože spodní táhlo je uloženo kloubově a pevně spojeno přes osu (obrázek 2.6), znamená to, že osa se nepohybuje přímočaře, ale po kružnici. I když opisuje jen její malou část, osa se zvedá po kružnici nahoru a dolů v závislosti na vytažení pístu. Proto je třeba zajistit natáčení lineárního motoru jak v místě vysunování pístu, tak i jeho samotné umístění v požadované výšce. Kloubové uložení v místě nastavení výšky aktuátoru je řešeno přes pevnou, žebrovanou a svařovanou desku k pevnému rámu, viz detail A (obrázek 2.8). Přenos pohybu z pístu na osu zajišťuje uložení svěrného spoje, viz detail B (obrázek 2.8). Prvek jsem navrhla několika způsoby a vybrala ten nejvhodnější, jehož řešení je na (obrázku 2.10)



Obrázek 2.8 Určení detailu uložení lineárního motoru

Detail A

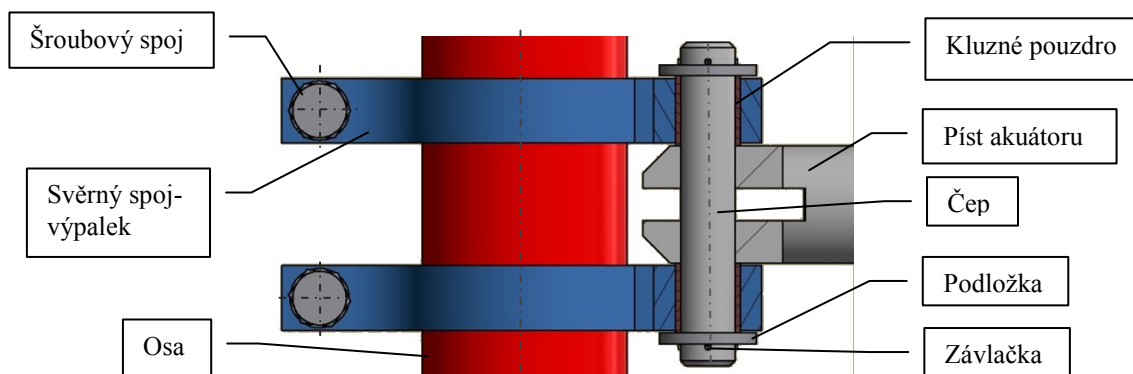
Protáčení uloženého čepu do díry s přesahem lineárního motoru zajišťuje kluzné pouzdro, jež je do díry třmenu nalisováno. Třmen je pouhé svaření dvou plechu k pevnému rámu. Natáčení čepu je okolo 1 až maximálně 5°. Zajištění čepu a kluzného pouzdra v pozici zaručí závlačka. Aby nedocházelo k odírání, a zbytečnému tření při naklánění, je mezi bokem třmenu a kovové části aktuátoru vůle.



Obrázek 2.9 Uložení konce lineárního motoru

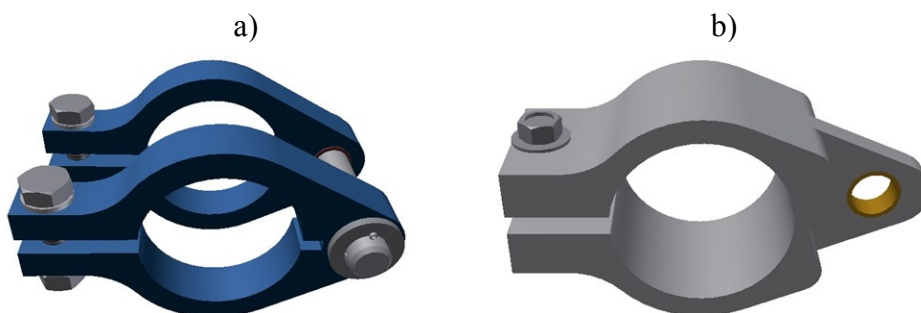
Detail B

Dvojice čep a píst lineárního motoru se natáčí pomocí dvou samomazných pouzder usazených v průběžné díře svěrného spoje. Samomazné pouzdro je voleno s větší délkou, aby se vymezovala vůle mezi boky svěrného spojení a kovového pístu. Zajištění čepu je z obou stran zabezpečeno závlačkou.



Obrázek 2.10 Uložení svěrného spoje s pístem lineárního motoru

Vstupem pro návrh spojení osy s pístem jsou rovněž koncovky aktuátory, které firma vlastní a chce jich v rámci úspory financí využít. Pracovala jsem tedy s koncovkou pístu, který byl k dispozici, i když firma vyrábějící tyto motory nabízí různé druhy zakončení pístu. Chtěla jsem, aby spoj byl rozebíratelný a jednoduchý na výrobu, proto jsem navrhla dva výpalky s dírou průměru osy a šroubovým spojem pro vytvoření předpětí mezi výpalkem a osou, (obrázek 2.11a.) Na (obrázku 2.11b) je návrh dalšího možného řešení svěrného spoje, jehož výhodou je jeden kus, ovšem nevýhodou je vzniklé žebro v místě díry pro píst, což by zapříčinilo problémové vytvoření předpětí a spoj by se mohl na ose protáčet.



Obrázek 2.11 variantní řešení svěrného spoje
a) Dvojice výpalku b) Výpalek z jednoho kusu

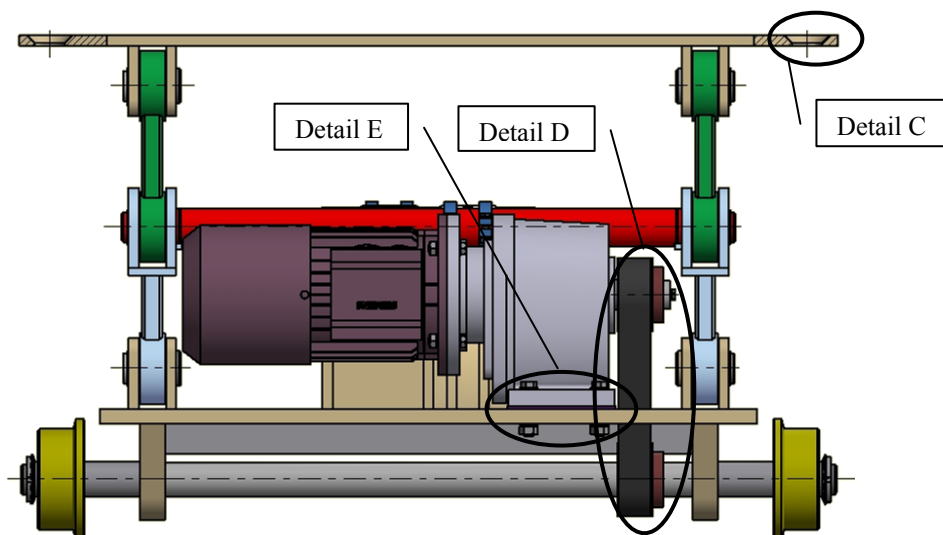
Zvolila jsem výběr kluzných pouzder typu Ingolidur X od firmy Hennlich s.r.o. Kluzné pouzdro je ideální na použití pro vysoké zatížení, jednoduché otáčivé pohyby a hodí se do provozu s vysokým výskytem nečistot a prachu.[9]

V následujících popisech se zaměřuji na uložení ve vybraných částech konstrukce (obrázek 2.12)

Detail C - nakládání nosiče modelové desky na vozík

Detail D - přenos pohybové energie z řemenového převodu na kola.

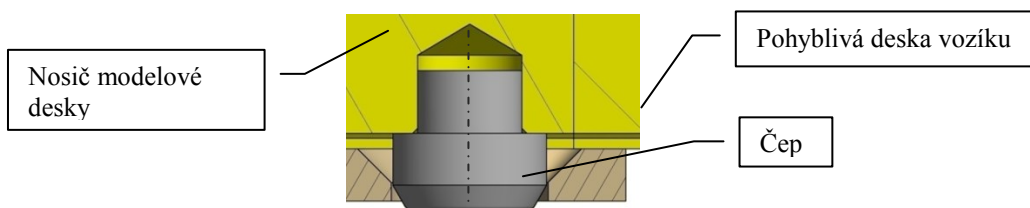
Detail E - napínání řemene a upevnění pohonu.



Obrázek 2.12 Určení detailu uložení

Detail C

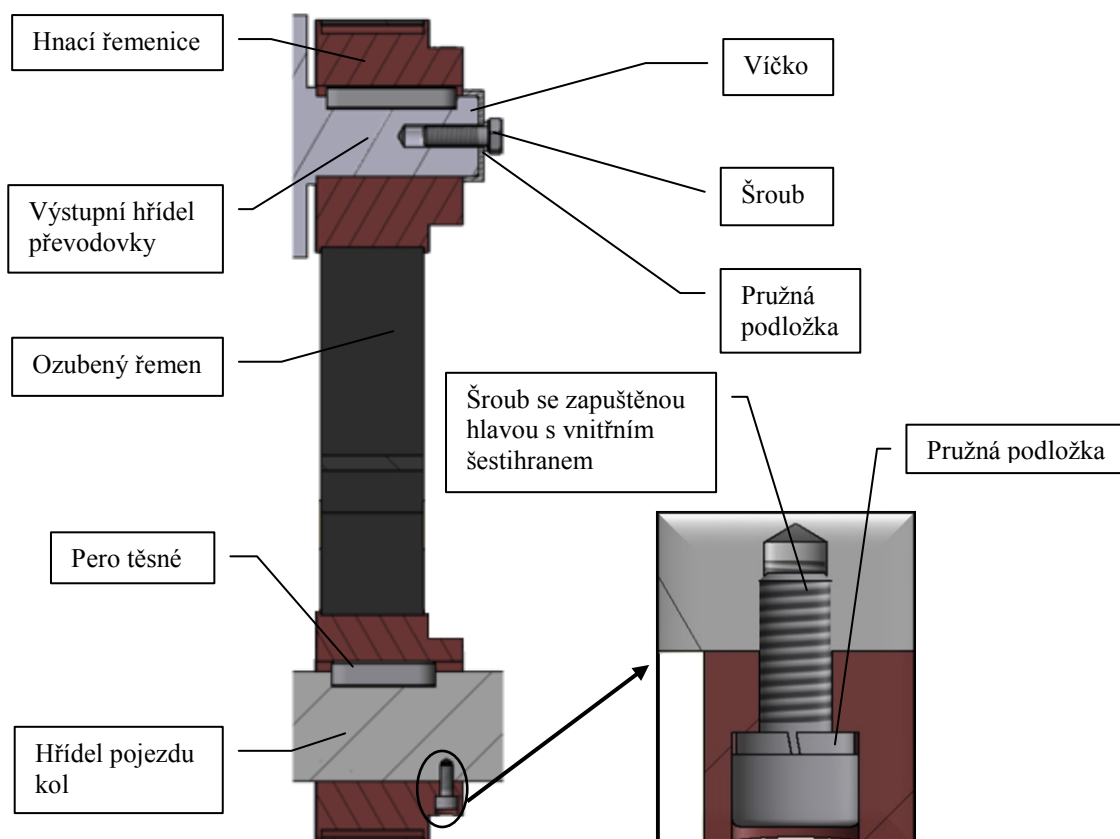
Jak již bylo zmíněno, vozík slouží pro převoz nosiče modelové desky. Aby unášec mohl být zavezen v přesné rovině do čepu formovacího stroje, je třeba jej už při nakládání na vozík přesně uložit. Proto jsou v horní pohyblivé desce rámu vozíku vyvrtané náběhy (díry) pro čepy, které jsou součástí nosiče.



Obrázek 2.13 Vyvrtané díry v pohyblivém rámu vozíku

Detail D

Hnací i hnaná řemenice přenášejí krouticí moment boky těsného pára, přenos tvarovou vazbou. Horní řemenice je nasazená na výstupní hřídel převodovky a zajištěna víčkem, jež za přidání pružné podložky pod šroub vytváří tlak na závity šroubu tak, aby se šroub nemohl při vibracích vozíku samovolně vysunout. Díra se závitem je vytvořená výrobcem pohonu. Popis na (obrázku 2.14) ukazuje sestavení všech komponent.



Obrázek 2.14 Uložení řemenového převodu

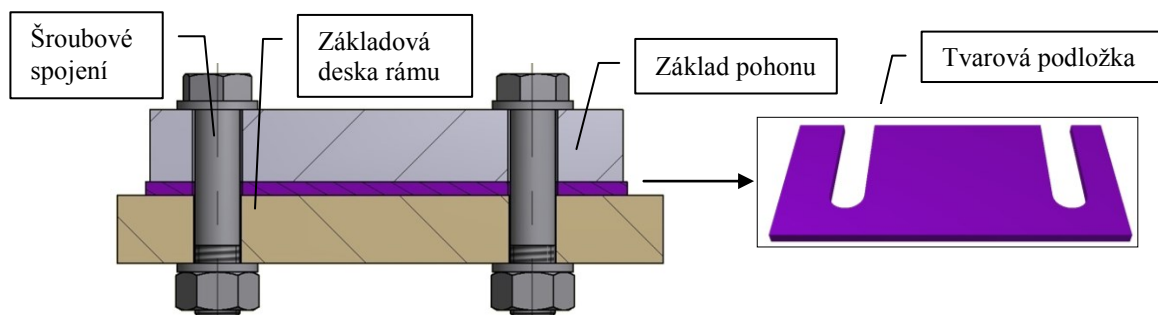
Volím standardní ozubenou řemenici od firmy TYMA CZ, s.r.o. označení T10 a k tomu příslušný jednostranně ozubený řemen typu T10 z polyuretanu a délkově stálého ocelového vlákna. Řemenice je s předvrtanou dírou, díru pro příslušný průměr hřídele a pro pojištění spodní řemenice si vyrobí firma samostatně.

Tabulka 2.2 Základní hodnoty řemenového převodu[10], [11]

	ŘEMENICE	ŘEMEN
Označení	47T10/22-2	32T10x630
Počet zubů	22	63
Materiál	ocel	Polyuretan
Šířka / délka řemene	-	32mm /630 mm

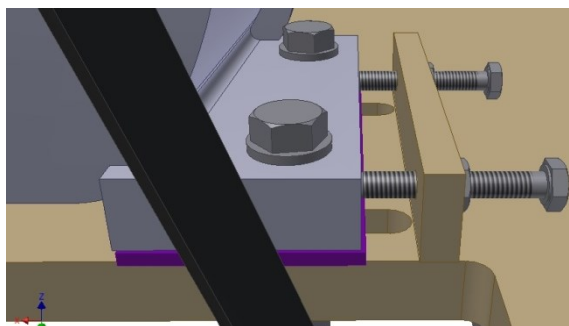
Detail E

Protože řemenice je přímo na hřídeli převodovky, nabízí se možnost polohovat s pohonem, a tím zajistit napínání ozubeného řemene. Napínání je možné ve dvou směrech, jak vertikálním, tak i vodorovným. Pohon je připevněn čtyřmi šrouby k základové desce rámu a lze s ním manipulovat vertikálně prostřednictvím tvarové podložky (obrázek2.15), nebo horizontálně díky podélně vypáleným dírám v základové desce (obrázek2.16).



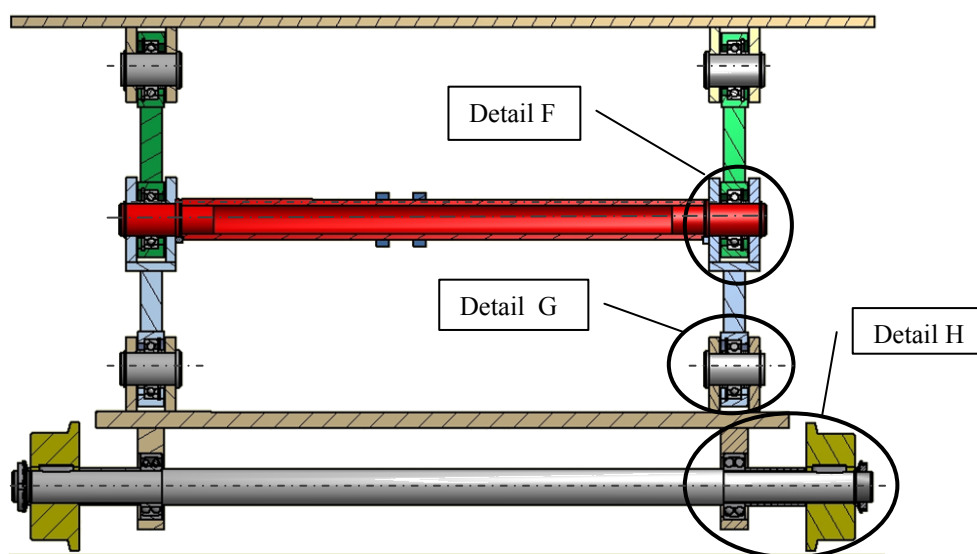
Obrázek 2.15 Uložení pohonu

Pro ulehčení manipulace při napínání řemene lze pohon pomoci pevné desky se závitovými díry a dvěma šrouby se závitem až k hlavě nastavit v požadované poloze a poté jej snadno přichytit k základové desce (obrázek 2.16).



Obrázek 2.16 Napínání řemene

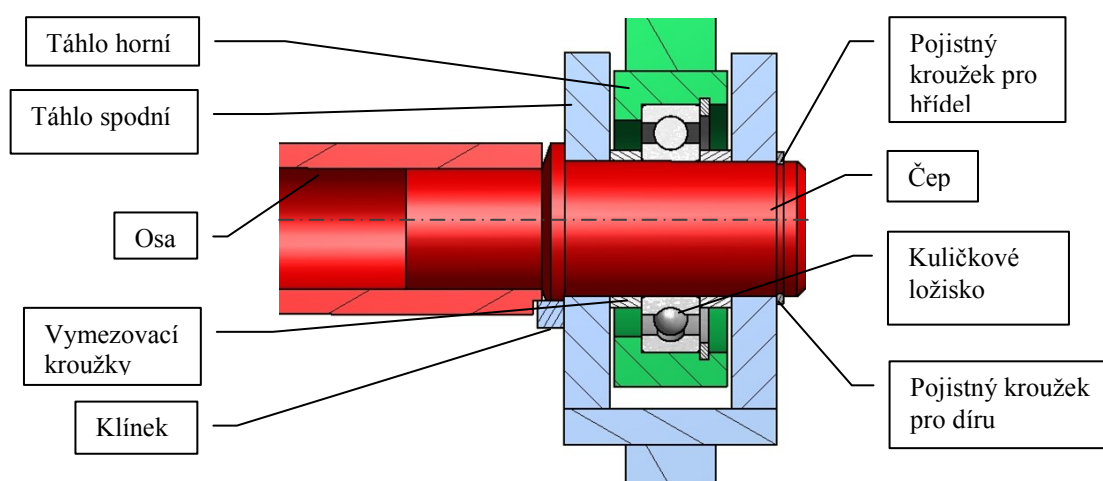
Na (obrázku 2.17) zobrazuje uložení táhel v řezu spolu s hřídeli kol a odkazuje na jednotlivé detaily. Způsob uložení táhel na horním a spodním rámu je shodný, a proto postačí pro ukázkou detail F. Snahou je použít co nejvíce stejných prvků.



Obrázek 2.17 Celkový pohled uložení táhel

Detail F

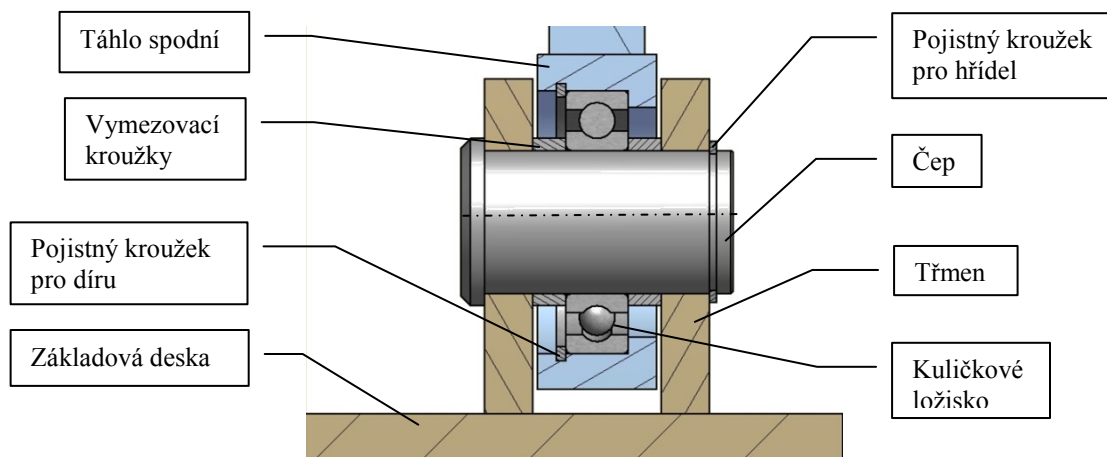
Jakmile píst začne tlačit přes svěrný spoj do osy, pohybová energie se přenesení přes táhla k hornímu pohyblivému rámu. Osa je tvořená trubkou z důvodu odlehčení materiálu a na koncích přivařenými čepy, nosnými prvky táhel. Čep je opatřen zkosením v místě svaru s trubkou a předpokládá se následné obrobení svarového spoje. Upravená osa se dále v místě svaru z jedné strany srazí a tím zajistí tvarový přenos energie pomocí klínu mezi osou a spodním táhlem. Separace natáčení osy od horního táhla dovoluje jednořadé kuličkové ložisko opatřené těsněním přímo od výrobce.



Obrázek 2.18 Uložení osy se spodním a horním táhlem

Detail G

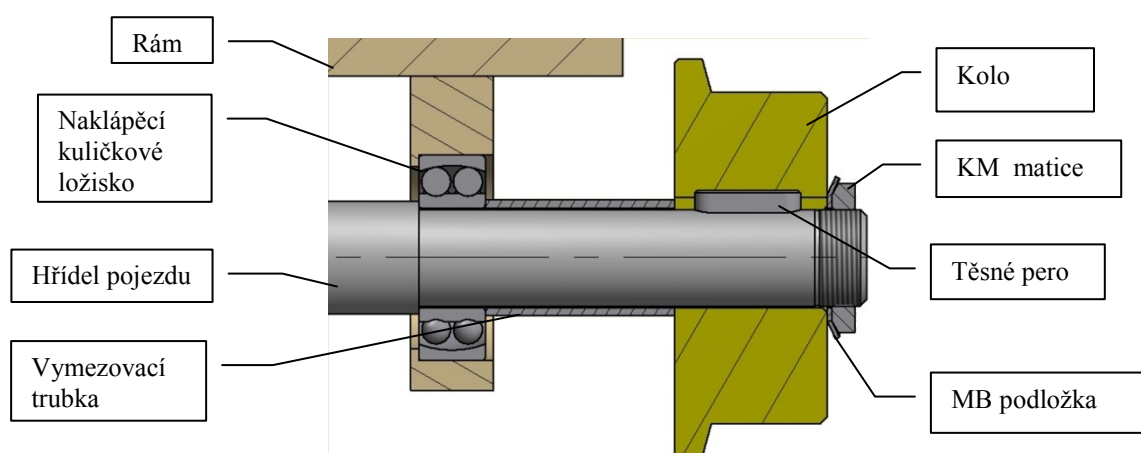
U každého spojení táhla s rámem (pevný i pohyblivý) je použito sestavení součástí podle (obrázku 2.19). Pevnou vazbu pro kloubové uložení táhla tvoří třmen složený ze dvou přesně vymezených a svařovaných desek k základu. Třmen navíc slouží jako výztuha spodní základové desky.



Obrázek 2.19 Uložení spodního táhla s pevným rámem

Detail H

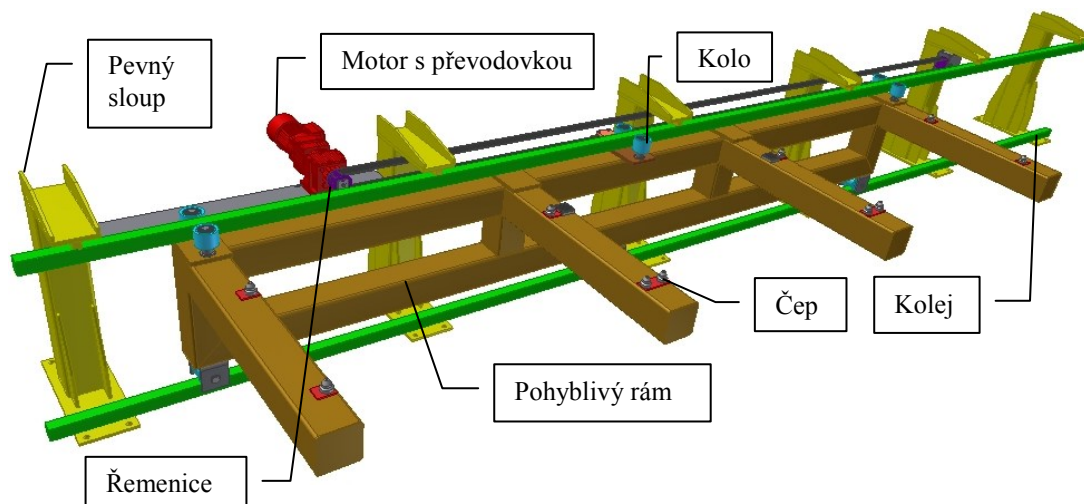
Pojezd vozíku je řešen po kolejích, které byly v místě pro zavážení unášeců do formovacího stroje zhotoveny již v minulosti. Uložení kol včetně jejich zajištění je shodné s druhou hřídelí pojezdu vozíku s rozdílem přidané řemenice. Hnaný hřídel pojezdu kol je otočně uložen mezi dvě naklápěcí ložiska z důvodu vyrovnaní nesouososti děr po sváření rámu. Ložiska budou kryté proti prachu. Kola musí být od sebe přesně vymezena tak, aby spolu s roztečí kolejí souhlasily a vozík byl unášen ve správné rovině. Po zajištění kol jsem použila kombinace KM matice a MB podložky. Nevýhodou spoje je náročnost výroby závitu a zápichu, ovšem výhodou je spolehlivost vytváření tlaku na kolo a krátká délka vyčnívající hřídele.



Obrázek 2.20 Uložení hřídele pojezdu

2.3 Konstrukce zásobníku

Zásobník slouží k naskladnění nosičů pro jejich následné přesunutí k formování. Hlavní stavební prvky zásobníku jsou pevné sloupy, na nichž je přivařená kolej a pohyblivý rám. Pevné sloupy jsou ukotveny šrouby v základech výrobní haly a spolu s kolejí zachycují hmotnost převáženého materiálu. Funkční část zásobníku tvoří pohyblivý rám. Ten obsahuje tři boxy pro naložení unášece na nosníky, jenž jsou opatřeny přesně vymezenými čepy pro horní či spodní nosič modelové desky. Prostřední box obsahuje jen čepy roztečně souhlasně pro oba unášece, je tedy univerzální. Pohyblivý rám je unášen ve vedení kolejí za pomoci otočně uložených kol rozmístěných po bocích, vprostřed a to na horní i spodní koleji. Aby byl zajištěn posuv, je pohyblivý rám svěrně spojen speciální ozubenou podložkou a stejně tvarovaným řemenem přes pohon, který vytváří točivý moment.



Obrázek 2.21 Sestava zásobníku

Pohyblivý rám

Celý rám je složený z jednoho druhu polotovaru, a sice trubky čtvercového průřezu, velikosti 140 mm s tloušťkou stěny 6mm. Skládá se ze dvou podlouhlých přes celý rám, čtyř pro uložení nosičů a čtyř krátkých pro nastavení výšky rámu. Na konstrukci jsou dále svařovány ostatní díly, jako např. horní a spodní kola, čepy nebo pogumované opěrné plochy. Celý rám je svařovaný a některé konce profilů jsou sraženy o 45°, aby boky konstrukce nebyly otevřené, ostatní jsou zakryty plechem.

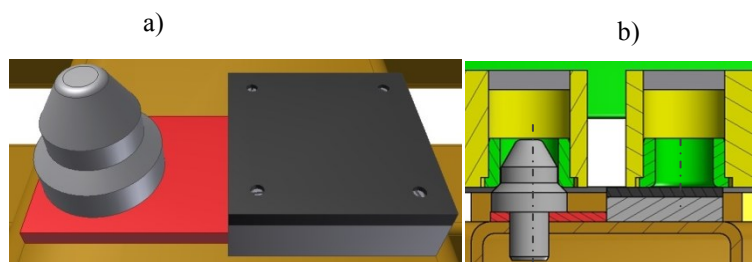
Nosiče budou pokládány na čepy, které jsou stejné jako v otočném stole formovacího stroje. Prostřední box je univerzální pro oba unášeče (horní a spodní). Krajní jsou přesně určeny, aby obsluha neprovedla záměnu modelu.



Obrázek 2.22 Rozdělení boxu pro unášeče

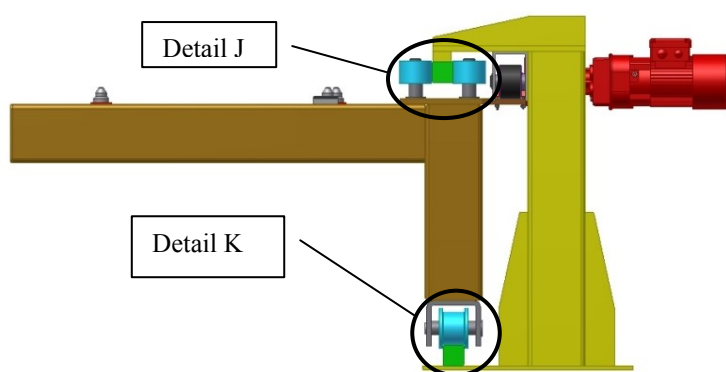
Detail I

Pod čepy jsou 6mm plechy, aby došlo k rovnoměrnějšímu rozložení sil při pokládání unášečů (obrázek 2.23a). V boxu pro univerzální nosič jsou navíc gumové opěrné plochy sloužící pro opření výčnělků unášečů (obrázek 2.23b). Všechny komponenty jsou svařeny k rámu.



Obrázek 2.23 Čep a gumová opěrka pro nosiče modelových desek
a) Čep a gumová opěrka b) řez uloženými výčnělky unášeců na čep opěrku

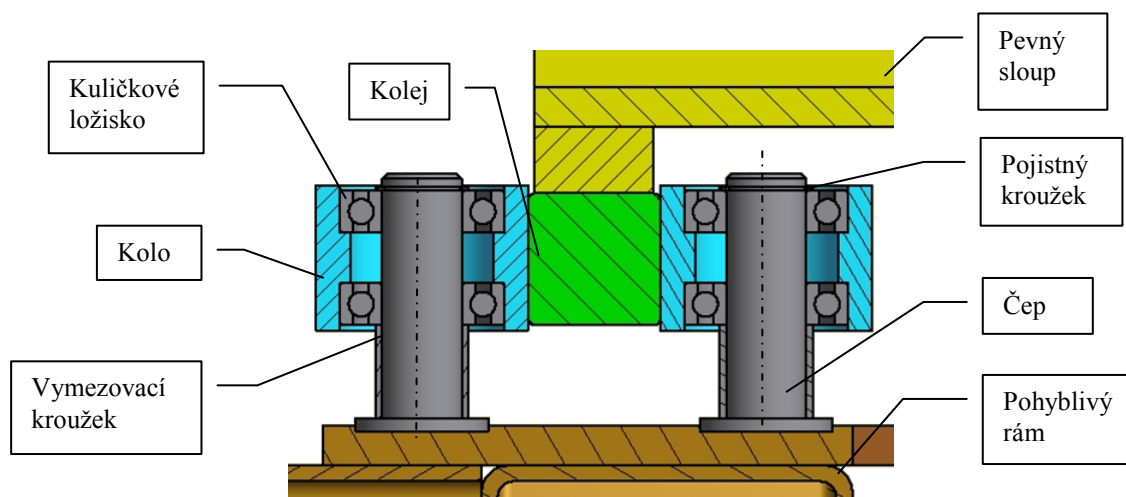
Celý pohyblivý rám se posunuje ve vedení, které je tvořeno třemi koly a koleji určující dráhu rámu. Koleje jsou jednoduché normalizované čtvercové profily svařované k pevnému rámu. Spodní nárolek zachycuje zatížení konstrukce rámu, zatímco dvojice horních kol vyrovnává nutkání pohyblivého rámu naklánět se ve směru nákladu.



Obrázek 2.24 Boční pohled na konstrukci zásobníku

Detail J

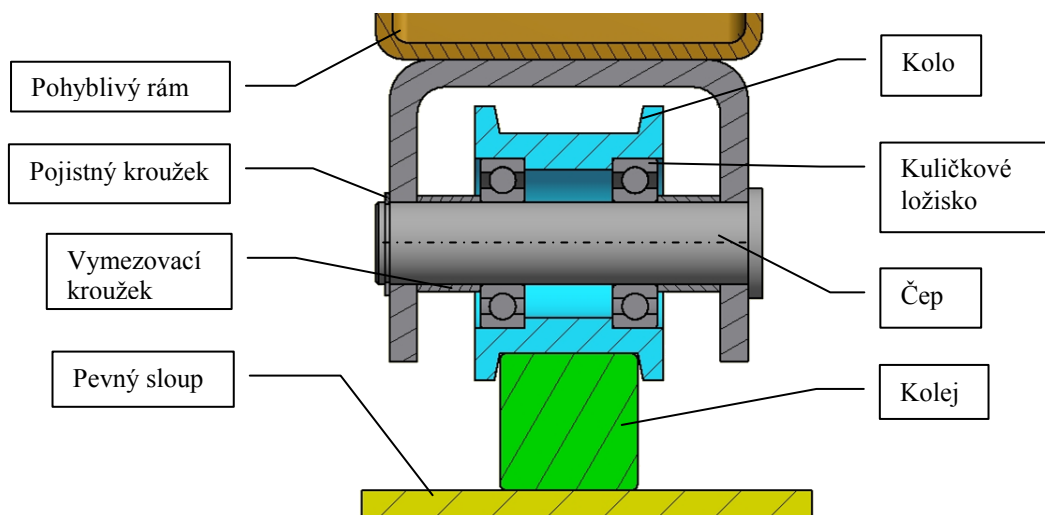
Prostřednictvím jednořadých kuličkových ložisek uložených paralelně za sebou se kolo vedeno po koleji otáčí. Výměna kola je možná po odebrání hřídelového pojistného kroužku a ložiska. Čep je pevně svařen k pohyblivému rámu zásobníku.



Obrázek 2.24 Uložení horních kol zásobníku

Detail K

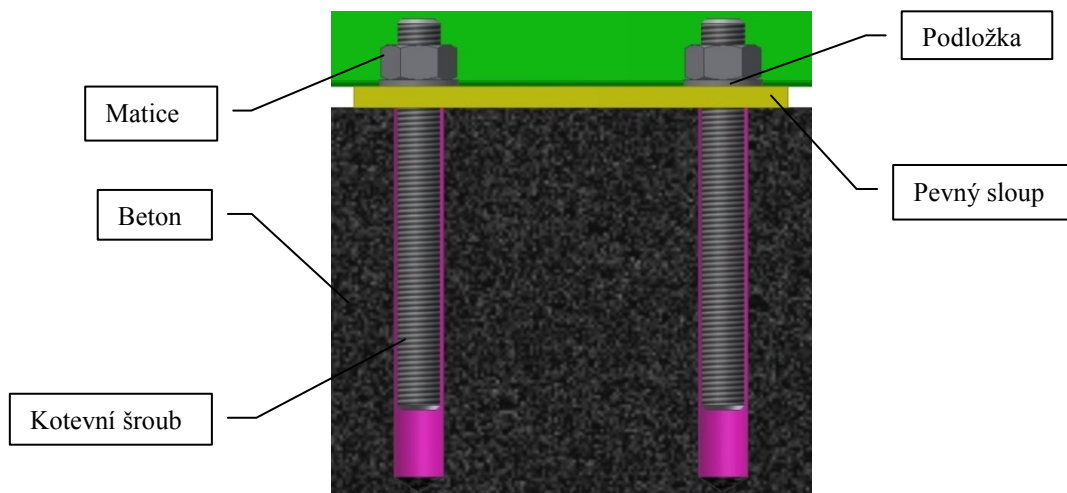
Další svarové spojení je uskutečněno mezi pohyblivým rámem a ohnutým plechem sloužícím pro uložení kola. Plech zvyšuje tuhost konstrukce, hlavně ve spodní části, kde zatížení je přenášeno na tři body tvořené třemi koly. Otočně uložené kolo se díky tlaku, tření a otočnému uložení prostřednictvím kuličkových ložisek odvaluje po koleji.



Obrázek 2.25 Uložení spodního kola

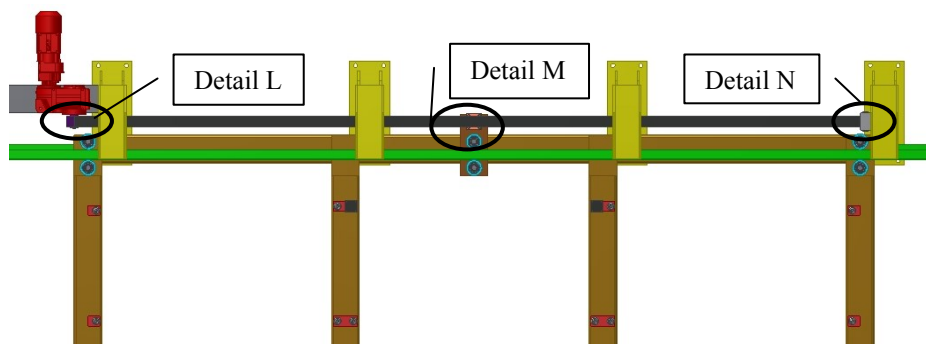
Kotvení pevného sloupu

Fixace pevného sloupu k základům výrobní haly je řešen prostřednictvím chemických kotevních šroubů. Chemické kotvení označuje způsob, kdy závitová tyč je pomocí speciální malty zalitá do předvrtané díry a vytvrzená. Pevnost šroubů je 8.8 s úpravou galvanického pokovení. Hloubka vrtání o průměru vrtáku 25mm do základu, dle vybraného normovaného kotevního šroubů je 170mm. Velikost závitů M20 s celkovou délkou kotvy 260mm. Označení kotevního šroubu CHM20x260/65



Obrázek 2.26 Kotvení pevného sloupu

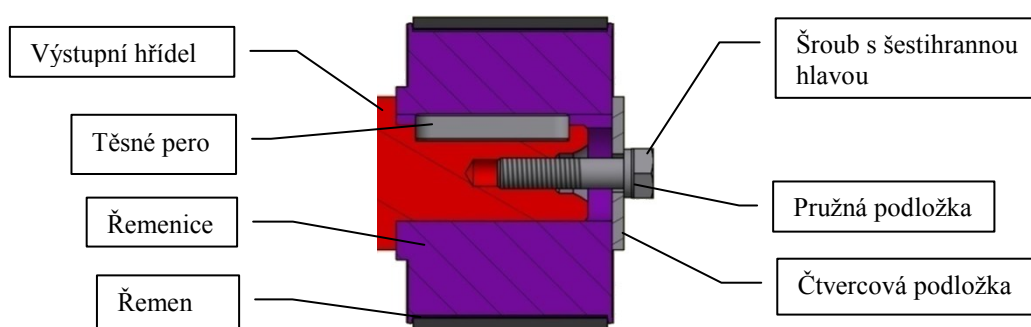
Krouticí moment vzniká kombinací elektromotoru s převodovkou, na jejíž výstupní hřídeli je uložena ozubená řemenice, detail L a N. Celkový počet pevných sloupů je šest, zatímco řemenový převod prochází čtyřmi z nich. Důvodem je rozsah pojezdu pohybového rámu, kde by delší řemen ztratil na významu, jelikož délka dráhy rámu je při tomto rozložení již plně využita. Rámová konstrukce se přesunuje po dráze kolejí díky speciálně tvarované podložce, která pevně spojuje řemen s rámem, viz detail M.



Obrázek 2.27 Určení detailu uložení řemenového převodu

Detail L

Na výstupní hřídel převodovky je nasunutá ozubená řemenice s lichoběžníkovým tvarem zubů typu L. Součástí hřídele je vyvrtaná závitová díra, která se využije pro zajištění řemenice proti posuvu, a pod hlavu šroubu se vloží pružná podložka. Ta vytváří tlak na závity šroubu a neumožňuje jeho povolení za provozu. Protože normovaná kruhová podložka nemá odpovídající vnější průměr s voleným šroubem, který by zachytil plochu řemenice, použije se pro vyložení čtvercový plechový výstřižek.



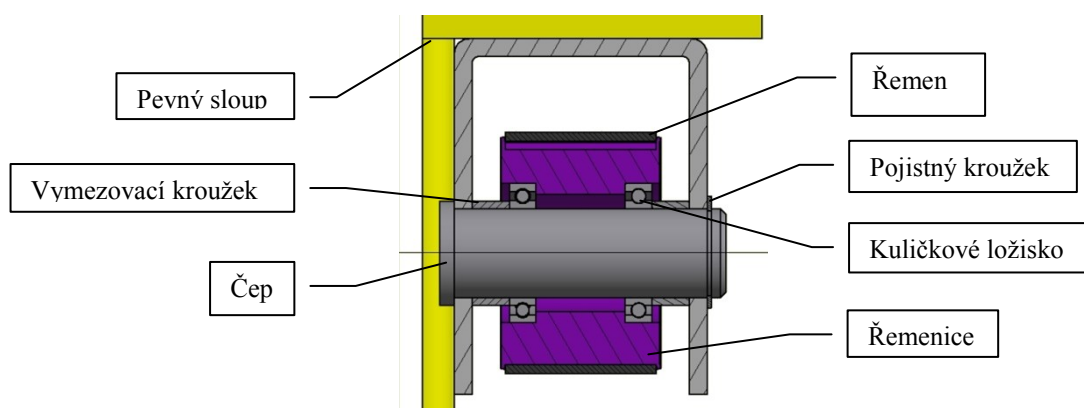
Obrázek 2.28 Uložení hnací řemenice

Tabulka 2.3 Základní hodnoty řemenového převodu u zásobníku[12]

	ŘEMENICE	ŘEMEN
Označení	25L200	200L3/8“-8440
Počet zubů	25	-
Materiál	ocel	Polyuretan
Šířka / délka řemene	-	52mm /8440 mm

Detail N

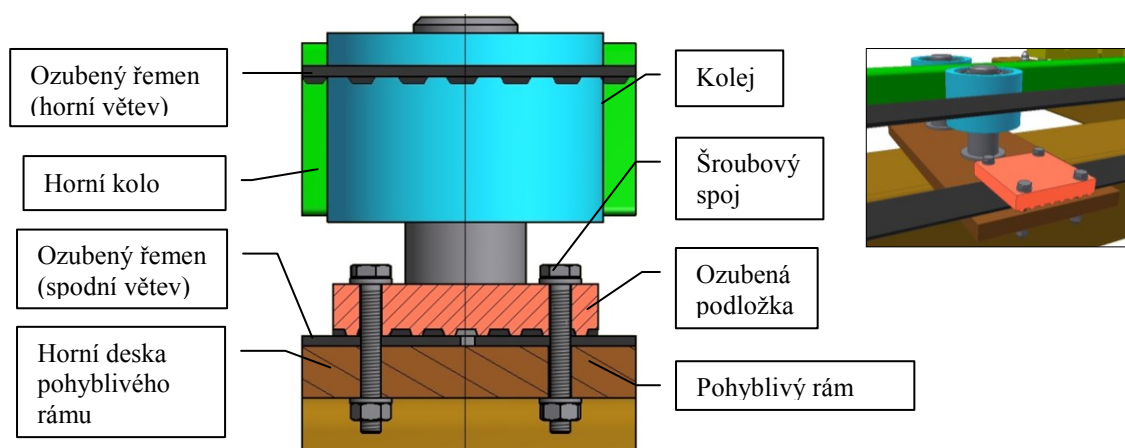
Hnaná řemenice je spojena přes čep k třmenu, jenž je svařený k pevnému sloupu. Uložení je obdobné jako u sestavení spodního kola s rozdílem velikosti vnějšího průměru ložisek.



Obrázek 2.29 Uložení hnací řemenice

Detail M

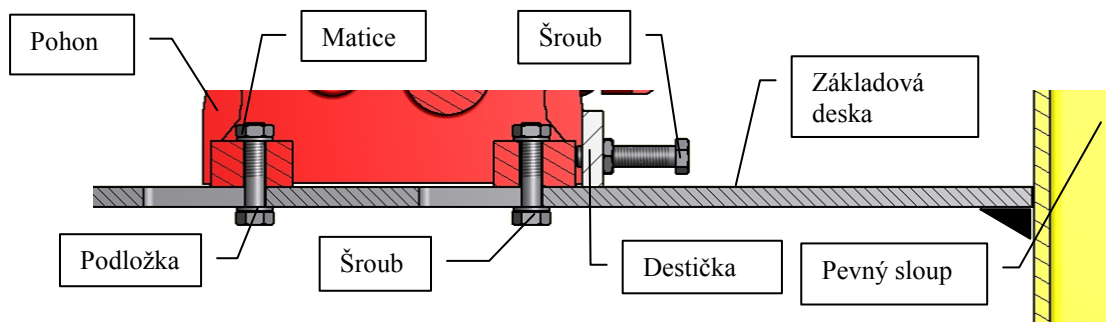
Aby byla zajištěna změna točivého pohybu z hnací řemenice na posuvný pohyb pohyblivého rámu, jsou oba konce řemenu vloženy mezi desku pohyblivého rámu a tvarovanou podložku. Kombinací čtyř šroubových spojů se dále vytvoří spoj, který je spolu s pohyblivým rámem unášen po směru řemenového převodu.



Obrázek 2.30 Přenos pohybové energie z pohonu na pohyblivý rám

Napínání řemene

S pohonem lze posouvat a dle jeho polohy řemen napínat. Pro nastavení požadované pozice pohonu slouží ocelová destička s dvěma díry se závitem a šrouby. Délka závitu šroubů odpovídá délce podlouhlé díry v základu, ke kterému je pohon připevněn šroubovým spojem.



Obrázek 2.31 Napínání řemene

2.4 Plán výměny nosičů modelových desek pomocí navržené konstrukce

V kapitole bylo pojednáno o aktuálním procesu výměny modelových desek. Nyní se zaměřím na výměnu modelu v podobě modernizace dle konstrukčního návrhu jak z pohledu času, tak i organizace a sledu jednotlivých operací za sebou (obrázek 2.32) a (obrázek 2.33). Návrhem automatizované výměny unášeců se předpokládá zrychlení zavážení do formovacího stroje, snížení počtu pracovníků a oproti aktuální výměně i zvýšení bezpečnosti při práci.

Délka jednotlivých operací v čase:

- Čas vysunutí a zasunutí pístu lineárního motoru $t_a = 8s$.
- Čas pro přejezd vozíku $t_v = 27,7 s$
- Čas pro přejezd jedné pozice zásobníku $t_z = 24,5s$
- Čas pro otočení formovacího stolu $t_s = 20s$

Výpočet časů dle obrázku 2.32 a jeho popis:

Obr. 2.32 a) Aktuátor je nevysunutý a připravuje se na zvedání horního rámu vozíku.

$$t_{0n} = 0s \quad (2.1)$$

b) Píst aktuátoru je max. vysunutý a tím vysune nosič z čepu otočného stolu.

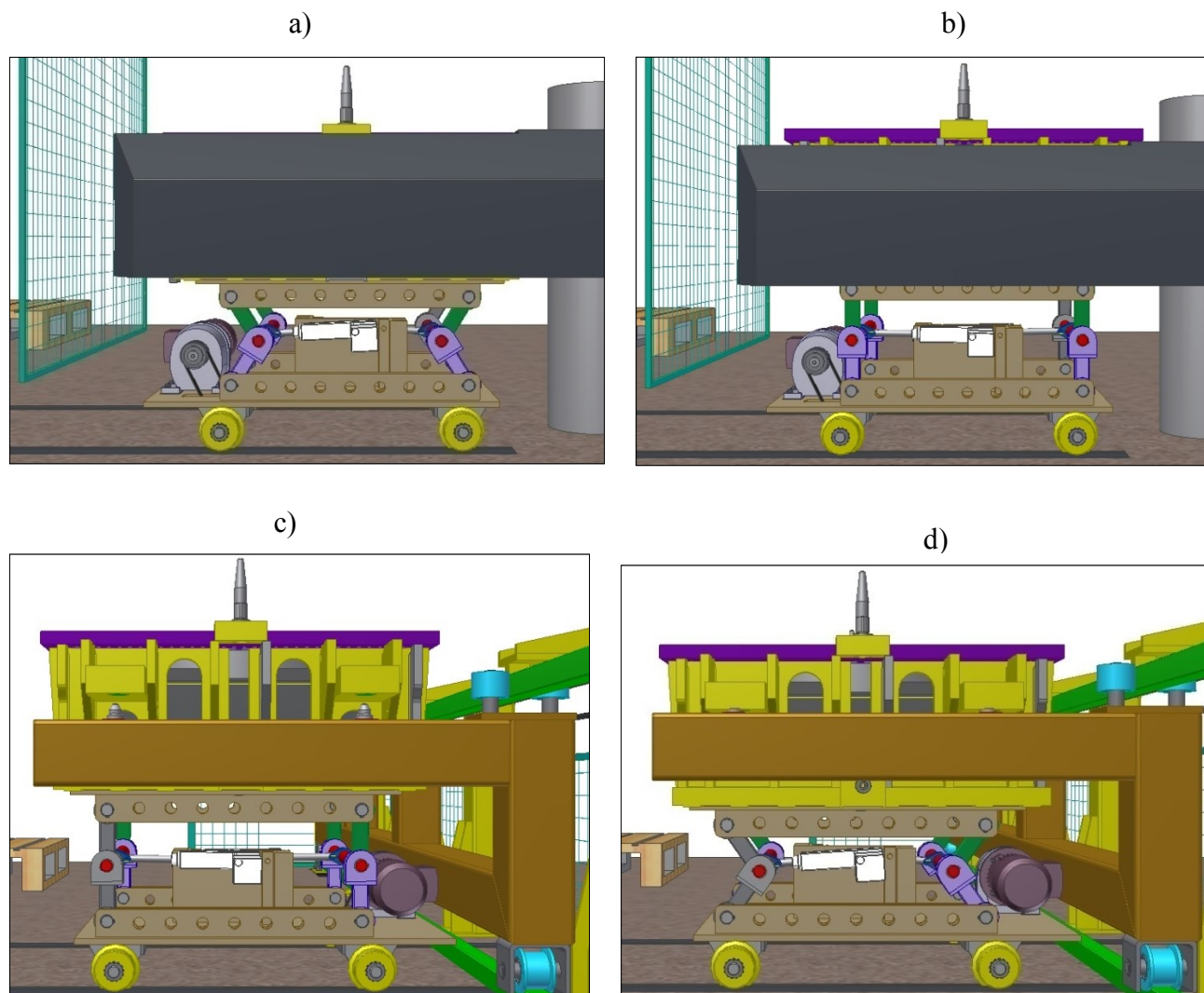
$$t_{1n} = t_a = 8s \quad (2.2)$$

c) Přejezd vozíku s neaktuálním spodním nosičem do spodního boxu

$$t_{2n} = t_{1n} + t_v = 8 + 27,7 = 35,7 \quad (2.3)$$

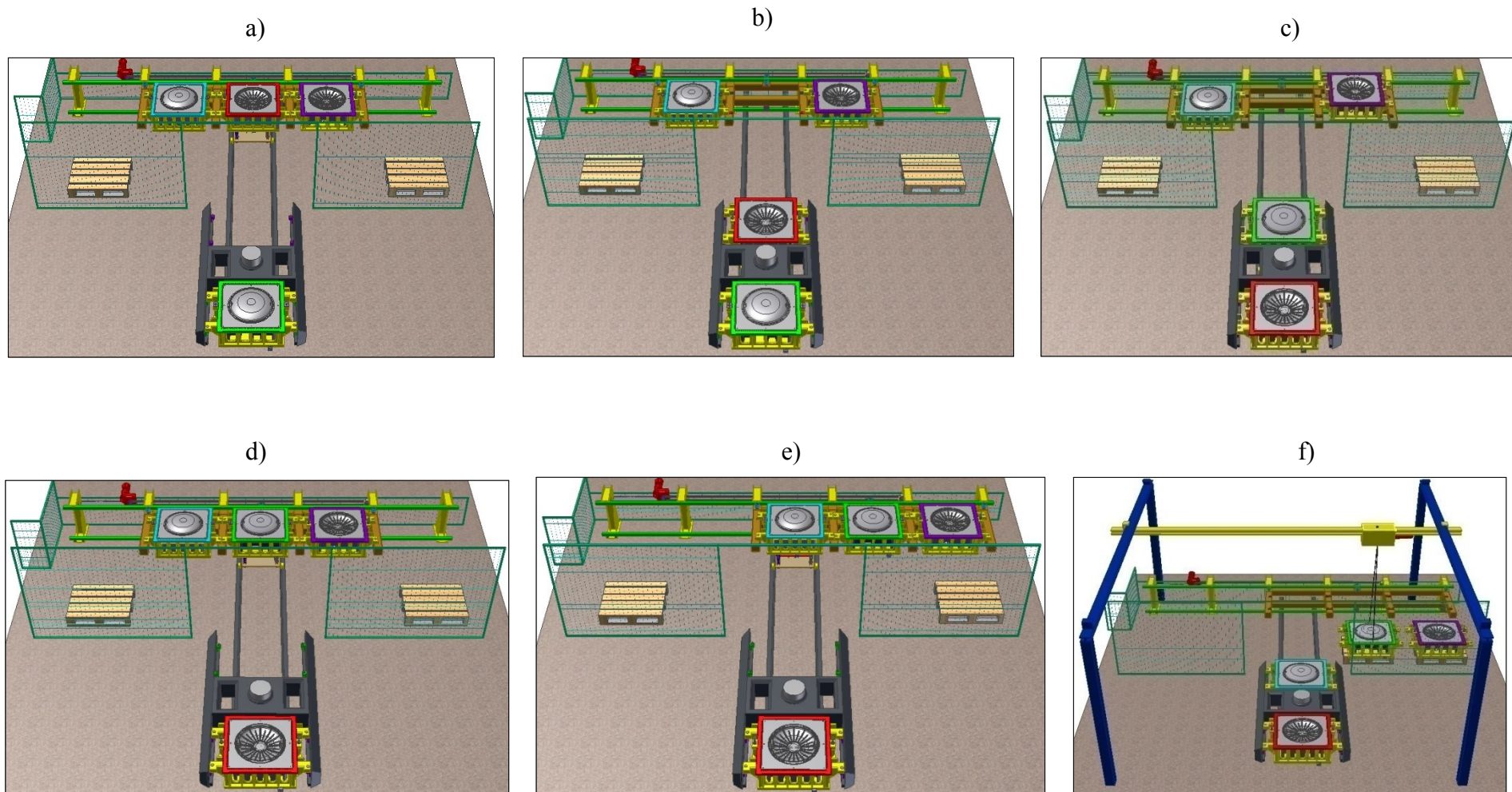
d) Aktuátor se zasouvá a tím pokládá spodní nosič na zásobník

$$t_{3n} = t_{2n} + t_a = 35,7 + 8 = 43,7s \quad (2.4)$$



Obrázek 2.32 Jednotlivé kroky výměny modelů, detail nakládání a vykládání spodního nosiče.

- a) Vozík je nachystán pro následné zvednutí nosiče. b) Vysunutí nosiče z otočného stolu formovacího rámu.
 c) Zavezení nosiče do zásobníku, boxu pro spodní nosič. d) Pokládání nosiče na čepy zásobníku.



Obrázek 2.33 Jednotlivé kroky výměny modelů, rozložení v prostoru

- a) Přejezd aktuálního spodního modelu v zásobníku do roviny formovacího stroje. b) Přejezd spodního modelu do otočného stolu. c) Otočení stolu formovacího stroje. d) Odvezení neaktuálního horního modelu do zásobníku. e) Posunutí zásobníku o jednu pozici s horním aktuálním nosičem. f) Aktuální modely připraveny k formování.

(Obrázek 2.33) následuje za (obrázek 2.32), a tedy je třeba připočíst jednotlivé časy operací k předchozím výpočtům.

Obr. 2.33 a) Zásobník se posune do roviny formovacího stroje s aktuálním spodním nosičem (červený), který je posazený v univerzálním boxu zásobníku.

$$t_{4n} = t_{3n} + t_z = 43,7 + 24,5 = 68,2s$$

b) Spodní aktuální nosič (červený) pomocí vozíku zajede do otočného stolu

$$t_{5n} = t_{4n} + t_v + 2 \cdot t_a = 68,2 + 27,7 + 2 \cdot 8 = 111,9s$$

c) Otočný stůl formovacího stroje se musí otočit, aby bylo možné odvézt druhý neaktuální nosič (zelený).

$$t_{6n} = t_{5n} + t_s = 111,9 + 20 = 131,9s$$

d) Neaktuální horní nosič (zelený) se odveze do boxu pro univerzální unášec.

$$t_{7n} = t_{6n} + t_v + 2 \cdot t_a = 131,9 + 27,7 + 2 \cdot 8 = 175,6s$$

e) Zásobník s aktuálním horním nosičem (modrý) se posune do roviny zavážení nosičů k formovacímu stroji. Vychází z boxu určeného pro horní unášec.

$$t_{8n} = t_{7n} + t_z = 175,6 + 24,5 = 200,1s$$

f) Vrchní část modelu se zaveze do stroje, který je následně připraven pro výrobu nové série odlitků. Neaktuální nosiče se jeřábem odejmou ze zásobníku na palety a odvezou vysokozdvížným vozíkem zpět na sklad modelových desek.

$$t_{9n} = t_{8n} + t_v + 2 \cdot t_a = 200,1 + 27,7 + 2 \cdot 8 = 230,6s$$

Celková plánovaná rychlost výměny unášec by dle jednotlivých časů a sledu operací mohla být 3min a 51s. Dle odhadu určitých prostojů, reakcí čidel, pomalejších rozjezdů a brzdění odhaduji celkový čas na 4min a 30s., což je zhruba polovina výměny dosavadním způsobem.

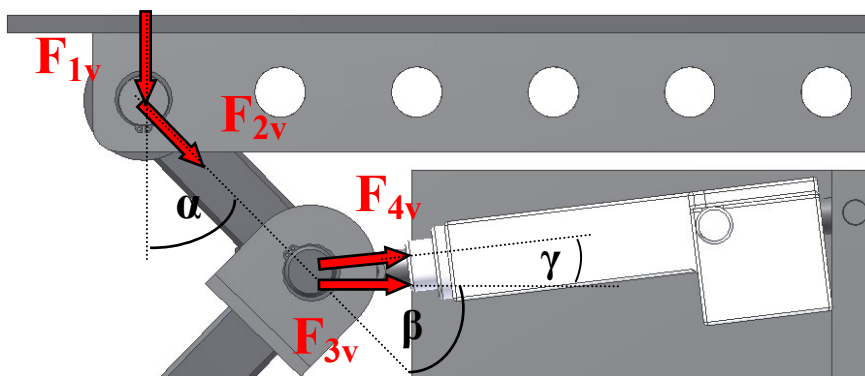
3. KONTROLNÍ VÝPOČTY

3.1 Vozík

V kapitole provádím pevnostní výpočty vybraných uzlů konstrukce, které považuji za kritické. Součástí některých výpočtů jsou analýzy metodou konečných prvků a závěrem kontroluji návrh pohonu pro pohyb vozíku.

Rozbor sil působících na konstrukci vozíku od zatížení nákladu

Pro správnou funkci zvedání horního rámu vozíku je třeba zkontrolovat, zda lineární aktuátor bude schopný pracovat se zátěží nákladu. Zatížení unášeče jsem rozdělila na čtyři díly z důvodu čtyř podpěr a na obrázku 3.1 jde vidět rozložení sil působících v jednotlivých směrech až k lineárnímu pístu motoru. Ukázka výpočtu je řešená pro nejhorší stav zatížení pístu, tedy ve spodní poloze horního rámu při úplném zasunutí pístu. Počítám s hmotností nosiče modelové desky, která je přibližně 850kg a polovinou hmotnosti konstrukce vozíku 100kg. Celkově s rezervou zvedaná hmotnost $m_{z,v}=1000\text{kg}$.



Obrázek 3.1 Rozložení sil na vozíku v nejnižší pozici horní desky

- Hmotnost nákladu vozíku $m_{z,v}=1000\text{ kg}$
- Úhly v nejnižší pozici pohyblivého rámu $\alpha = 43^\circ$; $\beta = 46^\circ$; $\gamma = 7^\circ$

Vertikální síla působící na vozík od hmotnosti nosiče – rozdělená na 4 táhla.

$$\begin{aligned} F_{1v} &= \frac{m_{z,v}}{4} \cdot g \\ F_{1v} &= \frac{1000}{4} \cdot 9,81 \\ F_{1v} &= 2\,452,5\text{N} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Síla od hmotnosti nosiče pod úhlem α (obrázek 3.1)

$$F_{2V} = \frac{F_{1V}}{\cos \alpha}$$

$$F_{2V} = \frac{2452,5}{\cos 43}$$

$$F_{2V} = 3\,353,3N$$
(3.2)

Síla od hmotnosti nosiče pod úhlem β (obrázek 3.1)

$$F_{3V} = F_{2V} \cdot \cos \beta$$

$$F_{3V} = 3353,3 \cdot \cos 46$$

$$F_{3V} = 2\,329N$$
(3.3)

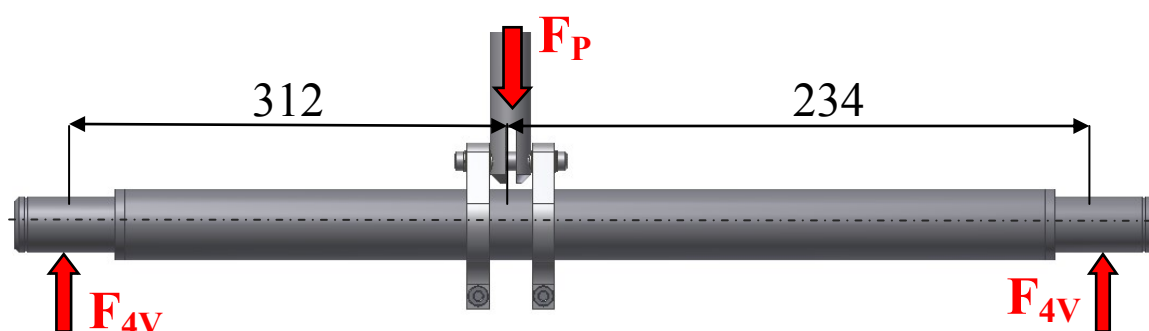
síla od hmotnosti nosiče pod úhlem γ (obrázek 3.1)

$$F_{4V} = \frac{F_{3V}}{\cos \gamma}$$

$$F_{4V} = \frac{2329}{\cos 7}$$

$$F_{4V} = 2\,346N$$
(3.4)

Síla F_{4V} působí v čepu osy na obou stranách. Z rovnováhy sil této reakce dostanu výslednou sílu, kterou musí vyvinout lineární aktuátor, aby v nejnižší poloze udržel zatížení nákladu.



Obrázek 3.2 Rozložení sil na ose

Potřebná síla lineárního motoru při spodní pozici horní pohyblivé desky

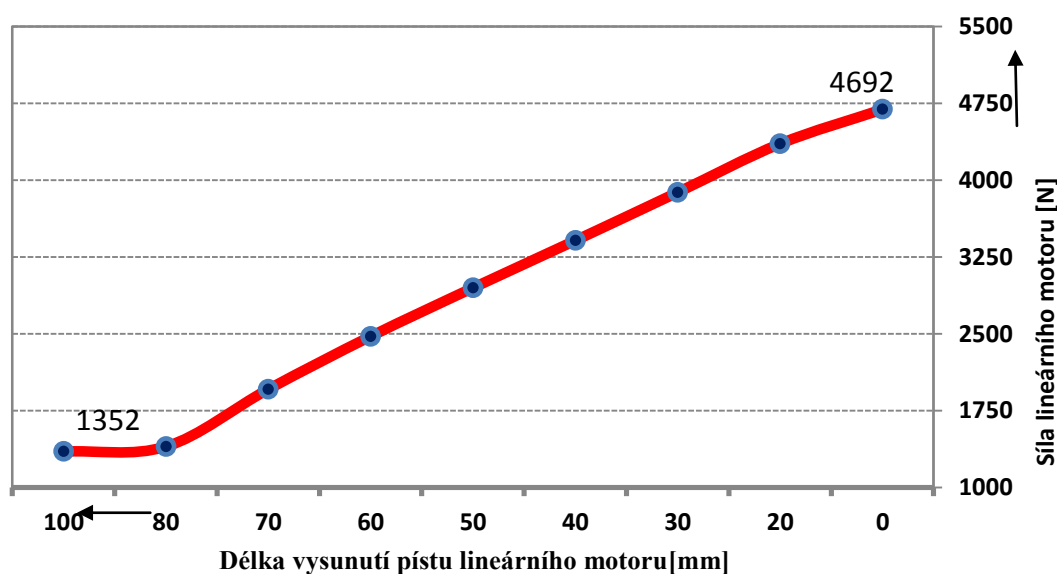
$$F_P = 2 \cdot F_{4V}$$

$$F = 2 \cdot 2346$$

$$F_P = 4\,692N$$
(3.5)

V nejnižší poloze horní desky vozíku (vysunutí pístu 0 mm) při zatížení 1000kg bude třeba vyvinout sílu lineárního motoru 4 692N. Motor je schopný vyvinout sílu 6000N v tahu, a tudíž je rezerva pro zvedání hmotnosti modelových desek, která se liší v závislosti na tvaru odlitku.

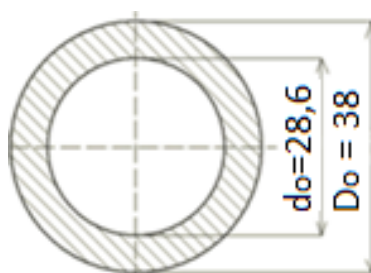
Čím více je píst lineárního motoru vysunutý, tím menší je potřebná síla pro udržení nákladu v požadované výšce. V pozici napřímených táhel, kdy síla se prakticky rozkládá pouze na svislé a vodorovné složky, je potřeba vyvinout v lineárním aktuátoru 1352N. Průběh požadovaných sil v různých délkách vysunutí pístu zobrazuje (obrázek 3.3).



Obrázek 3.3 Graf potřebné síly aktuátoru v závislosti na vysunutí pístu

Návrh průměru osy

Podle reakce F_{4V} (vzorec 3.4) působící v místě uložení osy, navrhují průměry trubky tak, aby vyhověly zatížení v ohybu. Rozměry průměru osy obrázek 3.4



Obrázek 3.4 Průměry trubky [mm]

Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_{o_{max}}}{W_o} = \frac{F_{4V} \cdot 312}{0,1 \cdot \frac{D_o^4 - d_o^4}{D_o}}$$

$$\sigma_o = \frac{2346 \cdot 312}{0,1 \cdot \frac{38^4 - 28,6^4}{38^4}} \quad (3.6)$$

$$\sigma_o = 189 \text{ MPa}$$

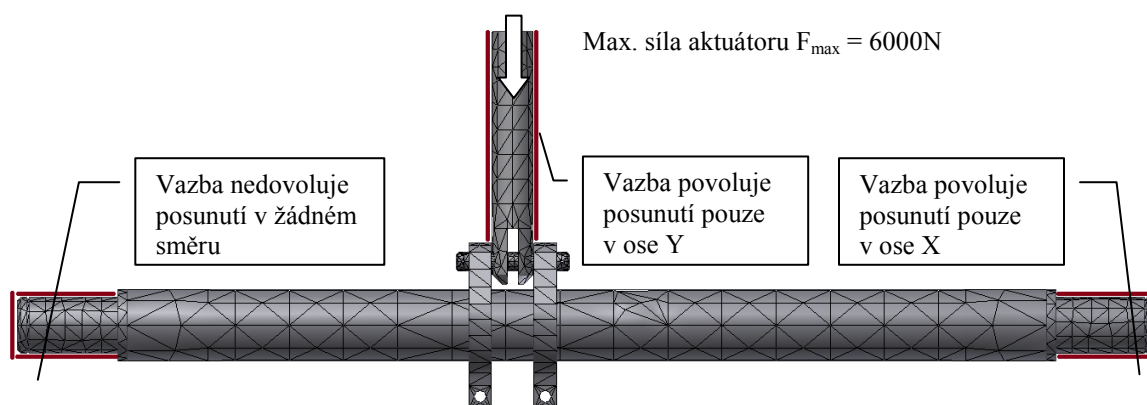
Volím materiál čepu ocel 11 600 v rozmezí dovoleného tlaku 170 až 250MPa. Napětí pro zatížení 1000kg ve spodní poloze vozíku vyhovuje. Rozsah dovoleného napětí dovoluje zatížit osu i na maximálních 6000N, které je lineární aktuátor schopen vyvinout.

Pevnostní analýza osy vozíku metodou konečných prvků

Pevnostní analýza slouží jako nástroj pro pochopení chování návrhu při určitých zátěžových podmínkách. K nalezení výsledku je součást rozložena na menší prvky pomocí sítě. Řešení spočívá v určení individuálního chování každého prvku. Vyřešením množiny algebraických rovnic tak lze předpovědět chování celého fyzikálního systému. Výsledkem je grafické znázornění zatíženého stavu a nedeformovaného drátového modelu s barevným odlišením maxima a minima.[13]

Určení vazby, sítě a zatížení

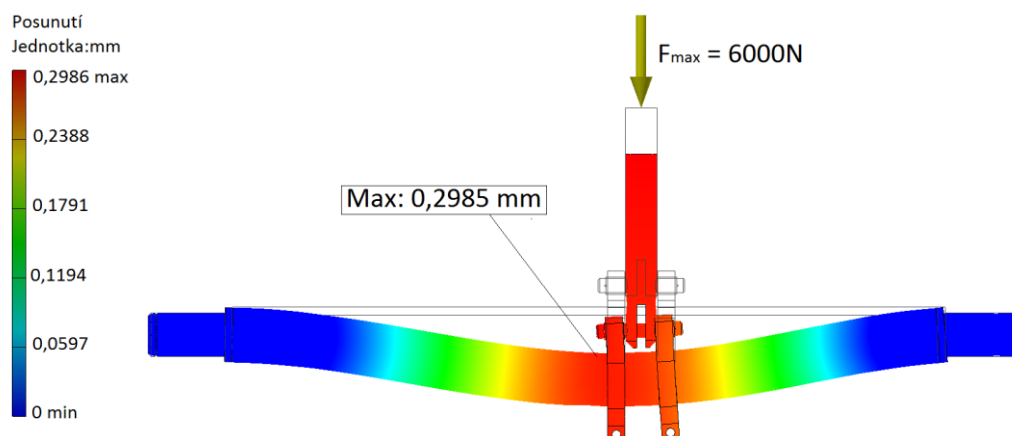
Určení vazeb, zásadním způsobem ovlivňuje výsledek pevnostní analýzy. Druh uchycení osy vozíku volím tak, aby se analýza co nejvíce přibližovala reálnému průhybu. Všechny zvolené vazby jsou pevné, jen se liší dle směru, v kterém je možný posuv. (Obrázek 3.5) popisuje druhy určených vazeb a jejich vlastnosti plus vyobrazení sítě sestavy osy s pístem lineárního aktuátoru.



Obrázek 3.5 Vazby, zatížení a rozložení sítě

Posunutí

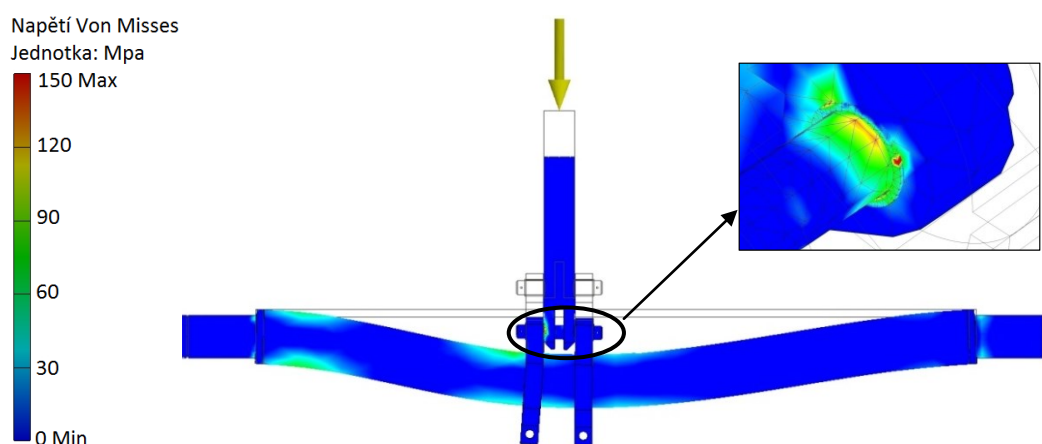
Maximální posunutí součásti se projeví v ose zatížení lineárního akuátoru na ose. Pro zjednodušení výpočtu jsem odstranila spojovací prvky (závlačky, šrouby, matice a podložky), které vytváří nadbytečný počet dotyků a výpočet komplikují. Na výsledek posunutí nemají úprava žádný vliv. Výsledek zatížení metodou konečných prvků s dosahem posunutí 0,29 mm při max. zatížení 6000N je vyhovující. Navíc síla 6kN ve skutečnosti takových hodnot ani nedosáhne.



Obrázek 3.5 Posunutí osy

Napětí

Nejslabším článkem uvedené sestavy (obrázek 3.6) je v oblasti čepu, který spojuje osu s lineárním pohonem. Aby výsledky v této oblasti byly důkladněji prověřeny, nechala jsem jej rozdělit na více prvků zjemněním sítě a provedla manuální výpočet na stříh (vztah 3.7), na otláčení (vztah 3.9) a ohybové napětí (vztah 3.10). Maximální napětí se zobrazuje v místě vrubu kluzného pouzdra, kde se koncentruje napětí, obrázek 3.6. Kluzné pouzdro je voleno pro max. statický tlak na povrchu do 150Mpa.



Obrázek 3.6 Rozložení napětí s detailem maxima

Kontrola čepu

- | | |
|---|-----------------------------|
| – Maximální síla aktuátoru v tlaku | $F_{\max}=6000\text{N}$ [8] |
| – Průměr čepu aktuátoru | $d_{\text{č}}=10\text{mm}$ |
| – Délka průřezu plochy pístu | $b_{\text{č}}=7\text{mm}$ |
| – Přípustná hodnota tlaku ve stykových plochách | $P_D=100\text{ MPa}$ [14] |
| – Dovolené napětí ve smyku | $\tau_{Ds}=125$ [15] |

Na stříh

Napětí ve stříhu

$$\tau_s = \frac{F_{\max}}{S_{\text{č}}} \leq \tau_{Ds}$$
$$\tau_s = \frac{6000}{157}$$
$$\tau_s = 38,2 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa} \text{ Vyhovuje} \quad (3.7)$$

Plocha průřezu čepu

$$S_{\text{č}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{č}}^2}{4}$$
$$S_{\text{č}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4}$$
$$S_{\text{č}} = 157 \text{ mm}^2 \quad (3.8)$$

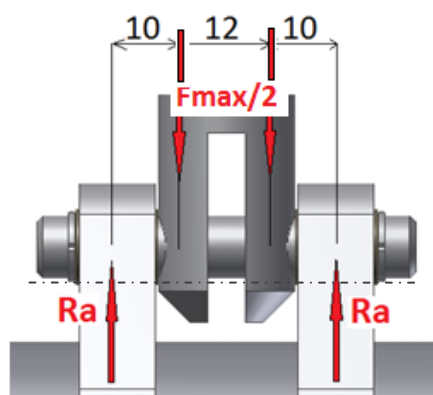
Na otlačení

Tlakové napětí na čepu pístu

$$P_1 = \frac{F_{\max}}{2 \cdot b_{\text{č}} \cdot d_{\text{č}}} < P_D$$
$$P_1 = \frac{6000}{2 \cdot 7 \cdot 10}$$
$$P_1 = 42,8 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa} \text{ Vyhovuje} \quad (3.9)$$

Na ohyb

- Reakce od max.síly aktuátoru v tlaku $R_a=3000\text{N}$
- Polovina maximální síly aktuátoru $F_{\max}=3000\text{N}$



Obrázek 3.7 Síly působící na čep

Ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{Ra \cdot \left(10 + \frac{12}{2}\right) - F_1 \cdot 6}{\frac{\pi \cdot d_c^3}{32}} < \sigma_{Do}$$

$$\sigma_o = \frac{3000 \cdot (10 + 6) - 3000 \cdot 6}{\frac{\pi \cdot 10^3}{32}} \quad (3.10)$$

$$\sigma_o = 305 \text{ MPa}$$

Volím materiál čepu 11 700 s vyšším rozsahem dovoleného napětí v ohybu $\sigma_{Do}=345\text{Mpa}$ [15]. Vypočítané maximální napětí v ohybu čepu 305Mpa je menší než dovolené napětí, a tedy vyhovuje.

Kontrola pohonu vozíku

Pohon pro pojezd vozíku si navrhla firma samostatně. Skládá se z brzdného elektromotoru a převodovky. Vozík bude brzděn elektromotorem a zastaven v požadované poloze pomocí elektronických čidel a dorazů, jejichž řešení není součástí diplomové práce.

Pohon je od firmy Motor – Gear a.s., technické údaje dle literatury [23] a[24]

- Čelní axiální převodovka – patkové provedení s brzdovým elektromotorem
- RCV 252 P 1:49,04 71/B5 + 1LA7070 – 4AB11-Z G26; 0,25kW 230/400V, D/Y, IMB5, IP55, 50HZ, F; brzda

– Celková převážená hmotnost	$m_C=1100$ [kg]
– Výkon motoru	$P_{M,V}=0,25$ [kW]
– Vstupní otáčky	$n_{1,V}=1350$ [min ⁻¹]
– Výstupní otáčky	$n_{2,V}=27,5$ [min ⁻¹]= [0,458 s ⁻¹]
– Výstupní moment	$M_V=84$ [Nm]
– Převodový poměr	$i_{p,V}=49,09$ [-]
– Průměr kola	$D_V=0,1$ [m]
– Dráha vozíku	$s_V=4$ [m]
– Průměr náboje	$d_V=30$ [mm]
– Roztečný průměr řemenice	$D_{p,V}=68,15$ [mm]
– Zrychlení vozíku	$a=0,05$ [m.s ⁻²]
– Celková mechanická účinnost	$\eta=0,92$ [-]

Úhlová rychlost kola

$$\begin{aligned}
 \omega_V &= 2 \cdot \pi \cdot n_{2,V} \\
 \omega_V &= 2 \cdot \pi \cdot 0,458 \\
 \omega_V &= 2,88 \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

Rychlost vozíku

$$\begin{aligned}
 v_V &= r_V \cdot \omega_V \\
 v_V &= 0,05 \cdot 2,88 \\
 v_V &= 0,144 \text{ m.s}^{-1}
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

Čas přejezdu

$$t_V = \frac{s_V}{v_V} = \frac{4}{0,144} = 27,8 \text{ s}
 \tag{3.13}$$

Celková síla pohonu

Valivý odpor je vypočten dle (vztahu 3.14) z literatury[16]

- f [-]...součinitel valivého tření. Ocelové kolo na kolejnici $f=0,0005$ [17]

$$F_{VAL,V} = m_c \cdot g \cdot \frac{f}{r_v}$$

$$F_{VAL,V} = 1100 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,0005}{0,05} \quad (3.14)$$

$$F_{VAL,V} = 108 \text{ N}$$

Třecí odpor v ložiskách a bočním vedení kol, vypočteno dle (vztahu 3.15) literatury [16]

- μ_{TR} [-]měrný součinitel tření v ložisku kola. Pro naklápěcí kuličková ložiska $\mu_{TR}=0,001$ [18]
- c [-]součinitel stranového tření kola $c=0,003$ [16]

$$F_{TR,V} = m_c \cdot g \cdot \left(\frac{d_v}{D_v} \cdot \mu_{TR} + c \right)$$

$$F_{TR,V} = 1100 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,03}{0,1} \cdot 0,001 + 0,003 \right) \quad (3.15)$$

$$F_{TR,V} = 38,8 \text{ N}$$

Setrvačná síla

$$F_{S,V} = m \cdot a$$

$$F_{S,V} = 1100 \cdot 0,05 \quad (3.16)$$

$$F_{S,V} = 61,1 \text{ N}$$

Výsledná síla

$$F_{VYS,V} = F_{VAL,V} + F_{TR,V} + F_{S,V}$$

$$F_{VYS,V} = 108 + 38,8 + 61,1 \quad (3.17)$$

$$F_{VYS,V} = 207,9 \text{ N}$$

Potřebný mechanický výkon motoru vypočten dle (vztahu 3.18) literatury [16]

$$P_{PMOT,V} = \frac{F_{VYS,V} \cdot v_V}{\eta \cdot 10^3}$$

$$P_{PMOT,V} = \frac{207,9 \cdot 0,144}{0,92 \cdot 10^3} \quad (3.18)$$

$$P_{PMOT,V} = 0,032 \text{ kW}$$

Potřebný moment na kole vypočten dle (vztahu 3.19) literatury [16]

$$\begin{aligned}
 M_{K,V} &= F_{VYS,V} \cdot \frac{D_V}{2} \\
 M_{K,V} &= 207,9 \cdot \frac{0,1}{2} \\
 M_{K,V} &= 10,4 \text{ N.m}
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

Potřebný moment na hřídeli motoru vypočten dle (vztahu 3.20) literatury [16]

$$\begin{aligned}
 M_{M,V} &= F_{VYS,V} \cdot \frac{D_V}{2} \cdot \frac{1}{i_{p,V} \cdot \eta} \\
 M_{M,V} &= 207,9 \cdot \frac{0,1}{2} \cdot \frac{1}{49,04 \cdot 0,92} \\
 M_{M,V} &= 0,23 \text{ N.m}
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

Návrh motoru firmou vyhovuje.

Obvodová rychlost řemenice

$$\begin{aligned}
 v_{obv,V} &= \pi \cdot D_{p,V} \cdot n_{vys,V} \\
 v_{obv,V} &= \pi \cdot 0,06815 \cdot 0,458 \\
 v_{obv,V} &= 0,09 \text{ m.s}^{-1}
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

Převod ozubenými řemeny lze použít do obvodové rychlosti 40 m.s^{-1}

3.2 Zásobník

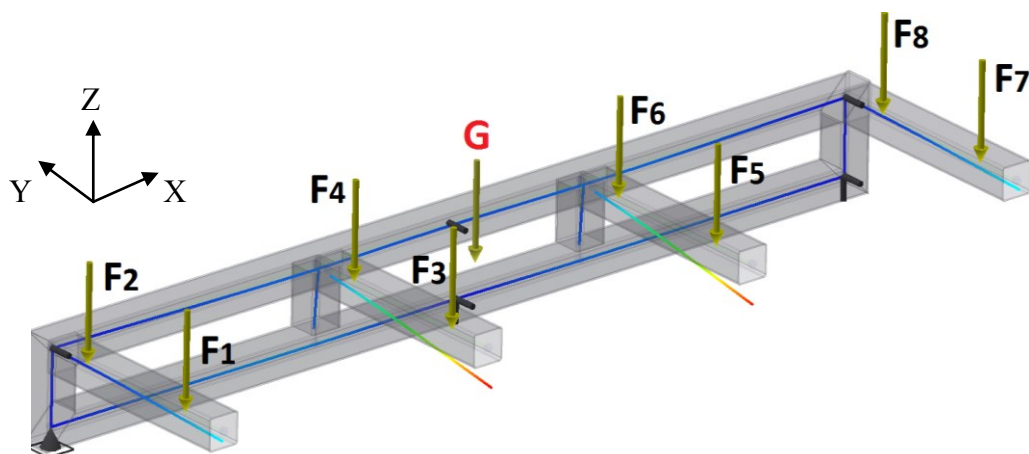
Výpočty pro konstrukci zásobníku se soustředí na analýzu zatížení pohyblivého rámu a jeho na návrh pohonu pro posuv. Součástí je kontrola navrženého řemenového převodu.

Analýza rámové konstrukce

„Umožňuje analýzu celistvosti dané rámové konstrukce s ohledem na deformace a napětí během působení různých zatížení a vazeb. Vytvořená sestava rámu je automaticky převedena do zjednodušeného modelu nosníků a uzlů. Na začátku a na konci nosníku má každý prvek nosníku šest stupňů volnosti (tři pro otáčení a tři pro posunutí). Uzly na nosnících formulují důležité body struktury a používají se například k definování sil a vazeb.“[19]




Určení sil a vazeb

Rám unese maximálně tři unášeče. Síly znázorněné na (obrázku 3.8) vyobrazují místa, kde jsou unášeče opřeny o jednotlivé čtyřhranné trubky. Prostřední nosníky jsou zatíženy nejvíce, neboť podpírají unášeče z obou stran, a tedy nesou 2x větší zatížení než postraní nosníky. Analýza do výpočtu započítává gravitační sílu G rámové konstrukce.



Obrázek 3.8 Rozložení sil na pohyblivém rámu zásobníku

Tabulka 3.1 Určení vlastnosti vazeb dle (obrázku 3.8)

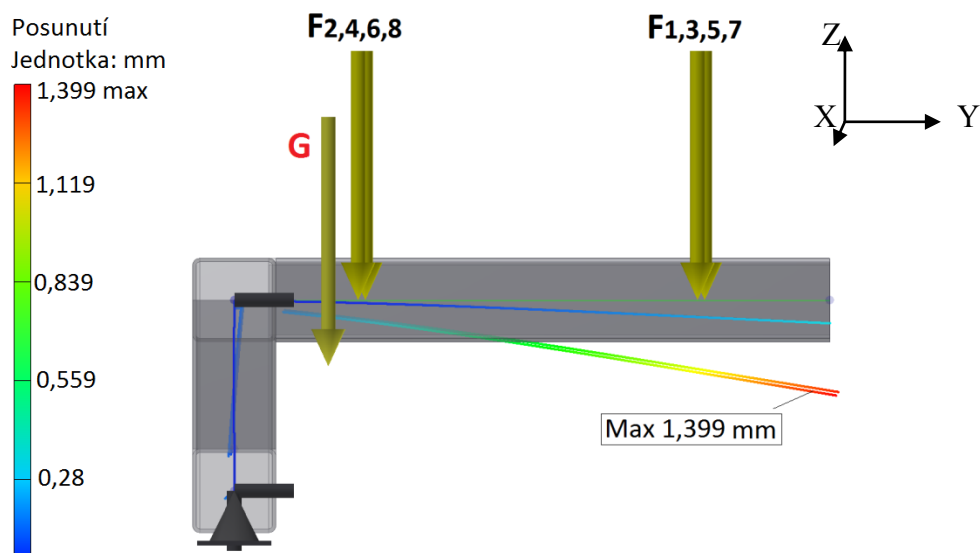
Druh vazby	Značka	Omezení pohybu	Poznámka
Kloubová		Možnost otáčení ve všech směrech. Zamezuje posuv ve všech směrech.	Volím jednu vazbu pevnou v posuvu, aby sestava, byla alespoň v jednom místě pevně chycená.
Uživatelská A		Možnost otáčení ve všech směrech. Zamezuje posuv pouze v ose Y.	Zvolené 3x v horní části rámu. Nahrazují nákolky a zabraňují naklopení rámu.
Uživatelská B		Možnost otáčení ve všech směrech. Zamezuje posuvu v ose Y a Z.	Zvolená 2x ve spodní části rámu. Opět nahrazuje nákolky, které nedovolují posuv v ose Y a Z.

Tabulka 3.2 Velikosti sil z (obrázku 3.8)

Jednotlivé zatížení sil [N]							
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
200	200	400	400	400	400	200	200
Zatížení na jednom společném nosníku [N]							
400		800		800		400	

Posunutí

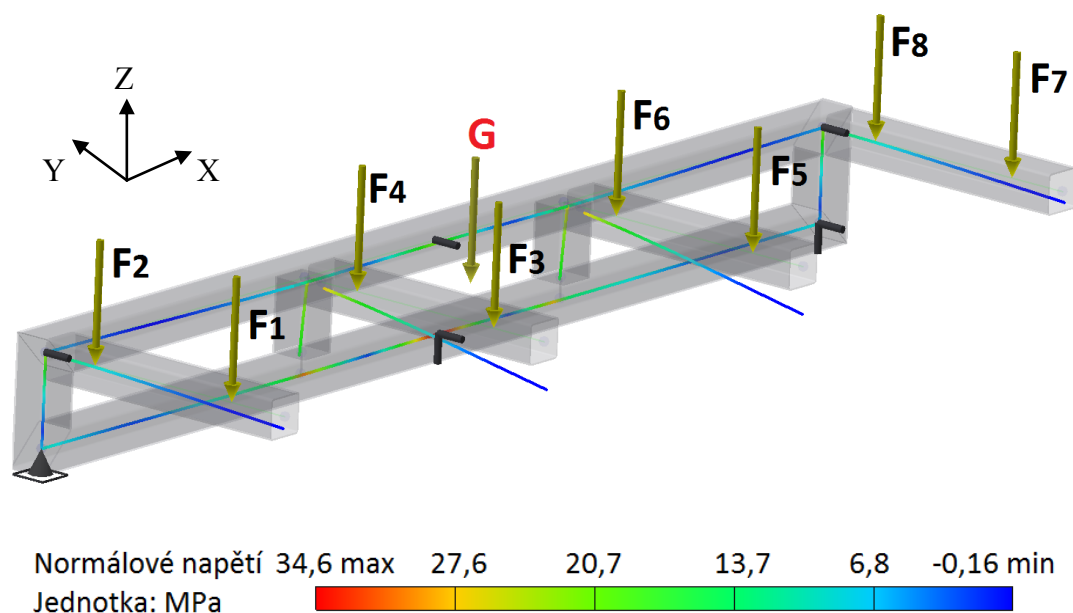
(Obrázek 3.8) a (obrázek 3.9) zobrazují pravděpodobný posuv nosníku při daném zatížení a zvolení vazeb. Maximální posunutí 1,399 mm se projeví u vnitřních nosníků (síly F3,F4 a F5,F6), o které se opírají dva nosiče. Při rozměrech nosníku okolo 1m lze toto posunutí tolerovat a nijak neohrozí nakládání a vykládání nosiče modelové desky. Pro zmenšení účinku na kritických nosnících by bylo možné, je zespod vyztužit plechy trojúhelníkových tvarů.



Obrázek 3.9 Průhyb pohyblivého rámu zásobníku

Normálové napětí

„Pomocí normálového napětí lze určit, kdy je deformace tahem (tlakem) ještě pružná. Zavádí se veličina mez pružnosti, největší hodnota normálového napětí, při které je deformace ještě pružná.“[2] Protože dovolená napětí oceli začínají přibližně na hodnotách 100MPa a mez kluzu 200MPa, zatížením rámu s maximálním normálovým napětím 34,6Mpa vyhoví. Maximum se projeví v místech, kde je rámová konstrukce uložena na kolech. Ty zachycují jednak zatížení a tíhu materiálu.



Obrázek 3.10 Průběh normálového napětí

Návrh pohonu zásobníku

Volím motor s brzdou od firmy DriveGate, označení R27R17DR63S4/BR .Technické údaje pohonu dle literatury[22].

– Hmotnost	$m_{p,z} = 3000 \text{ [kg]}$
– Výkon motoru zásobníku	$P_z = 0,12 \text{ [kW]}$
– Vstupní otáčky motoru	$n_{1,z} = 1380 \text{ [min}^{-1}\text{]}$
– Výstupní otáčky	$n_{2,z} = 12 \text{ [min}^{-1}\text{]} = 0,2 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$
– Převodový poměr	$i_{p,z} = 118 \text{ [-]}$
– Výstupní moment	$M_z = 86 \text{ [N.m]}$
– Průměr kola zásobníku	$D_z = 0,8 \text{ [m]}$
– Dráha jedné pozice	$s_z = 1,15 \text{ [m]}$
– Roztečný průměr řemenice	$D_w = 75 \text{ [mm]}$
– Průměr náboje	$d_z = 30 \text{ [mm]}$
– Zrychlení	$a = 0,05 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
– Celková mechanická účinnost	$\eta = 0,92 \text{ [-]}$

Obvodová rychlost řemenice

$$\begin{aligned}
 v_{obv,\dot{r}} &= \pi \cdot D_w \cdot n_{2,z} \\
 v_{obv,\dot{r}} &= \pi \cdot 0,075 \cdot 0,2 \\
 v_{obv,\dot{r}} &= 0,047 \text{ m.s}^{-1}
 \end{aligned}
 \tag{3.22}$$

Čas přejezdu rámu jedné pozice

$$\begin{aligned}t_Z &= \frac{s_Z}{v_{obv,ř}} \\t_Z &= \frac{1,15}{0,047} \\t_Z &= 24,5 \text{ s}\end{aligned}\tag{3.23}$$

Celková síla pohonu

Valivý odpor je vypočten dle (vztahu 3.14) z literatury[16]

- f [-]...součinitel valivého tření. Ocelové kolo na kolejnici $f=0,0005$ [17]

$$\begin{aligned}F_{VAL,Z} &= m_{p,Z} \cdot g \cdot \frac{f}{r_Z} \\F_{VAL,Z} &= 3000 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,0005}{0,04} \\F_{VAL,Z} &= 367,8 \text{ N}\end{aligned}\tag{3.24}$$

Třecí odpor v ložiskách a bočním vedení je vypočten dle (vztahu 3.25) literatury[16]

- μ_{TR} [-]...měrný součinitel tření v ložisku kola. Pro kuličková ložiska $\mu_{TR}=0,002$ [18]
- c [-]...součinitel stranového tření kola $c=0,003$ [16]

$$\begin{aligned}F_{TR,Z} &= m_{p,Z} \cdot g \cdot \left(\frac{d_Z}{D_Z} \cdot \mu_{TR} + c \right) \\F_{TR,Z} &= 3000 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,03}{0,08} \cdot 0,002 + 0,003 \right) \\F_{TR,Z} &= 110,3 \text{ N}\end{aligned}\tag{3.25}$$

Setrvačná síla

$$\begin{aligned}F_{S,Z} &= m_{p,Z} \cdot a \\F_{S,Z} &= 3000 \cdot 0,05 \\F_{S,Z} &= 150 \text{ N}\end{aligned}\tag{3.26}$$

Výsledná síla

$$\begin{aligned}F_{VYS,Z} &= F_{VAL,Z} + F_{TR,Z} + F_{S,Z} \\F_{VYS,Z} &= 367,8 + 110,3 + 150 \\F_{VYS,Z} &= 628,1 \text{ N}\end{aligned}\tag{3.27}$$

Potřebný mechanický výkon motoru je vypočten dle (vztahu 3.28) literatury [16]

$$P_{PMOT,Z} = \frac{F_{VYS,Z} \cdot v_{obv,\dot{r}}}{\eta \cdot 10^3}$$

$$P_{PMOT,Z} = \frac{628,1 \cdot 0,047}{0,92 \cdot 10^3} \quad (3.28)$$

$$P_{PMOT,Z} = 0,032 \text{ kW}$$

Potřebný moment na kole je vypočten dle (vztahu 3.29) literatury [16]

$$M_{K,Z} = F_{VYS,Z} \cdot \frac{D_Z}{2}$$

$$M_{K,Z} = 628,1 \cdot \frac{0,08}{2} \quad (3.29)$$

$$M_{K,Z} = 25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

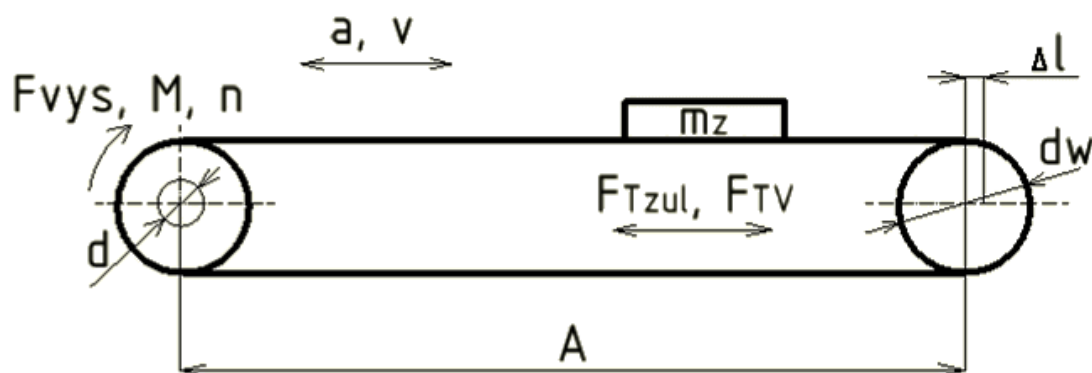
Potřebný moment na hřídeli motoru

$$M_{M,Z} = F_{VYS,Z} \cdot \frac{D_Z}{2} \cdot \frac{1}{i_{p,Z} \cdot \eta}$$

$$M_{M,Z} = 628,1 \cdot \frac{0,08}{2} \cdot \frac{1}{118 \cdot 0,92} \quad (3.30)$$

$$M_{M,Z} = 0,23 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kontrola řemenového převodu zásobníku



Obrázek 3.11 Schéma lineárního řemenového převodu

Potřebný moment na řemenici

$$M_{P,\check{r}} = \frac{F_{VYS,Z} \cdot d_w}{2000}$$

$$M_{P,\check{r}} = \frac{628,1 \cdot 75}{2000} \quad (3.31)$$

$$M_{P,\check{r}} = 23,8 \text{ N.m}$$

Kontrola šířky řemene, výpočet dle (vztahu 3.32) literatury [21]

$$b_z = \frac{F_{VYS,Z} \cdot C_1}{F_{U\text{spez}} \cdot z_e}$$

$$b_z = \frac{628,1 \cdot 1}{37,42 \cdot 12} \quad (3.32)$$

$$b_z = 1,4 \text{ cm}$$

- $C_1[-]$...provozní faktor $C_1=1$ [21]
- $F_{U\text{spez}} [\text{N.cm}^{-1}]$... pevnost zubu ve smyku $F_{U\text{spez}}=37,42 \text{ N.cm}^{-1}$, dle literatury [21]
- $z_e[-]$...počet zubů v záběru řemenice $z_e=12$, dle literatury [21]

Minimální potřebná šířka řemene je 1,4 cm. Po konzultaci s firmou volím dle literatury[21] ozubený řemen šířky 50,8 mm.

Návrh předepínací síly F_{TV} , (vztah 3.33) dle literatury [21]

$$\text{Volím } F_{TV} = 1000 \text{ N}$$

$$F_{TV} > F_{VYS,Z} \quad (3.33)$$

$$1000 \text{ N} > 628,1 \text{ N}$$

vyhovuje

Kontrola přípustného zatížení v tahu, výpočet dle (vztahu 3.32) literatury [21]

$$F_{Tmax} = F_{TV} + F_{VYS,Z}$$

$$F_{Tmax} = 1000 + 628,1 \quad (3.34)$$

$$F_{Tmax} = 1628,1 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 F_{TZUL} &> F_{Tmax} \\
 5640 \text{ N} &> 1628,1 \text{ N} \\
 &vyhovuje
 \end{aligned}
 \tag{3.35}$$

- F_{TZUL} [N] povolené zatížení řemene v tahu $F_{TZUL}=5640\text{N}$ dle literatury [21]

Prodloužení řemene, výpočet dle (vztahu 3.36) literatury [21]

$$\begin{aligned}
 \Delta l &= \frac{F_{TV} \cdot L_R}{2 \cdot C_{Spez}} \\
 \Delta l &= \frac{1000 \cdot 8200}{2 \cdot 1410000}
 \end{aligned}
 \tag{3.36}$$

$$\Delta l = 2,9\text{mm} = 0,035 \%$$

- L_R [mm]... celková délka řemene $L_R=8200$ mm
- C_{Spez} [N]... specifická tuhost řemene $C_{Spez}=1410000\text{N}$ dle literatury [21]

4. ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo změnit dosavadní způsob výměny nosičů modelových desek určených pro vytvoření slévárenské formy za systém, který by proces záměny série vyráběných odlitků urychlil. Aktuální postup výměny spočívá v přenášení horních a spodních nosičů prostřednictvím jeřábového systému. Způsob je náročný na čas, obsluhu a bezpečnost práce. Proto jsem navrhla mechanismus, který by tyto nežádoucí atributy práce snížil. V první řadě urychlil záměnu nosičů, což přináší firmě finance, a zjednodušil manipulaci při zakládání modelových desek do otočného rámu formovacího stroje.

Dopravu jeřábem jsem nahradila dvěma mechanismy, jednak zásobníkem pro nosiče modelových desek, a vozíkem, který je bude mezi zásobníkem a formovací linkou převážet. Úkolem zásobníku je posunovat nosiče do požadovaných rovin, buď do roviny pro odvoz k formování, nebo do roviny pro založení či odstranění z/do zásobníku. Princip práce vozíku spočívá v horní pohyblivé desce, která se vlivem vysunutí či zasunutí pístu lineárního motoru zvedá, nebo snižuje. Tímto způsobem následně vykládá, nebo zakládá nosiče modelových desek z/do formovacího stroje nebo zásobníku. Dalším úkolem vozíku je přejezd s nosičem od zásobníku k formování a naopak, k čemuž dopomáhá elektromotor s převodovkou a řemenovým převodem uloženým k hřídeli pojezdu kol vozíku. Součástí diplomové práce je podrobný popis tohoto návrhu, kontrolní výpočty a pevnostní analýzy vybraných částí konstrukce.

Výsledkem konstrukčního návrhu je zrychlení produktivity výměny nosičů modelových desek o polovinu dosavadního času. Původní výměna jeřábovým systémem zabrala průměrně 8 minut. Výměna pomocí navržené konstrukce se předpokládá na 4,5 minuty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČADA, R.. Technologie I. Ostrava: Skripta VŠB-TU Ostrava, 2007. str. 75 ISBN 978-80-248-248-1274-8
- [2] *Strojírenství – vše k maturitě* [online]. [cit. 2013-01-12]. Dostupné na: <<http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/03/3737-strojni-formovani.html>>
- [3] *Výroba forem* [online]. [cit. 2013-03-02]. Dostupné na: <[volny.a2.sweb.cz/Výroba%20forem%20dle%20učebnice.doc](http://volny.a2.sweb.cz/Vyroba%20forem%20dle%20učebnice.doc)>
- [4] *Wagner – sinto* [online]. [cit.2013-01-20]. Dostupné na: <http://wagner-sinto.de/fileadmin/files/downloads/HSP_gb.pdf>
- [5] WAGNER SINTO. Seiatu formmaschine ace. Katalog, VO 1000-02/12
- [6] *Wagner – sinto* [online]. [cit.2013-01-20]. Dostupné na: <http://wagner-sinto.de/fileadmin/files/downloads/Kompaktformanlage_gb.pdf>
- [7] *Wagner – sinto* [online]. [cit. 2013-01-20]. Dostupné na: <http://wagner-sinto.de/fileadmin/files/downloads/SEIATSU_gb.pdf>
- [8] *LINAK* [online]. [cit. 2013-02-15]. Dostupné na: <<http://www.linak.cz/about/?id3=4867>>
- [9] *igus* [online]. [cit. 2013-02-27]. Dostupné na: <http://www.igus.cz/iPro/iPro_02_0005_0000_CZcs.htm?c=CZ&l=cs>
- [10] *TYMA* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné na: < <http://www.tyma.cz/files/doc/zs-at10.pdf>>
- [11] *TYMA* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné na: < <http://www.tyma.cz/files/doc/zr-t10.pdf>>
- [12] *TYMA* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné na: <<http://www.tyma.cz/files/remeny/e-l-en.pdf>>
- [13] *Autodesk WikiHelp* [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné na: <<http://wikihelp.autodesk.com/Inventor/csy/2012/Help/2021-Pevnostn2021>>
- [14] *phpRS* [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné na: <http://johny.web2001.cz/storage/1208087132_sb_deformacepevnchtles.pdf>
- [15] VÁVRA, P. A KOL.. Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické. 1. vydání. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1983. str 672.

- [16] VRÁNA, V..Dimenzování pohonů u vybraných pracovních mechanismů.
Ostrava:Sylaby pro posluchače 5.ročníků VŠB-TU Ostrava, 1999. Str.23
- [17] *conVERTER* [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné na:
<<http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>>
- [18] *exvalos* [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné na:
<http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_00_04_Treni.pdf>
- [19] *Autodesk WikiHelp* [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné na:
<http://wikihelp.autodesk.com/Inventor/csy/2012/Help/2098-Anal%C3%BDza_2098>
- [20] *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2013-04-05]. Dostupné na:
<<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/630-sila-pruznosti-normalove-napeti>>
- [21] *TYMA* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné na:
<http://www.tyma.cz/files/katalogy/elatech_e.pdf>
- [22] *SEW EURODRIVE* [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné na: <<http://www.sew-eurodrive.com/produkt/index.php>>
- [23] *MOTOR-GEAR* [online]. [cit. 2013-03-10]. Dostupné na:
<<http://www.motorgear.cz/elektromotory-siemens-1le1>>
- [24] *MOTOR-GEAR* [online]. [cit. 2013-03-10]. Dostupné na:
<<http://www.motorgear.cz/prevodovky-celni-rcv-cv-jednostupnove>>

SEZNAM PŘÍLOH

- A) Výkres sestavy: Vozík, číslo výkresu: DP2013-DOR079-01
- B) Výkres sestavy: Zásobník, číslo výkresu: DP2013-DOR079-02
- C) Výkres svářeence: Rám, číslo výkresu: DP2013-DOR079-03
- D) Výrobní výkres: Výpalek-svěrný spoj, číslo výkresu: DP2013-DOR079-V1
- E) Kusovník výkresu vozíku 1
- F) Kusovník výkresu vozíku 2
- G) Vypracování diplomové práce na CD nosiči